

фізики. Потрібна і відповідна база дидактичних завдань, які б сприяли розвитку логічного мислення учнів в процесі навчання.

Треба відзначити, що «Державний стандарт базової і повної середньої освіти» [Постанова № 24 Кабінету Міністрів України від 14 січня 2004 року] вже пропонує щось подібне до модульної системи навчання, але робить це недостатньо рішуче і послідовно.

УДК 53.01 (07)

Є.Г. Шуригін, Шуригіна Л.С.

Слов'янський державний педагогічний університет,  
м. Слов'янськ

### Шляхи вдосконалення змісту освіти

Національна Доктрина розвитку освіти України в XXI столітті передбачає необхідність формування змісту освіти на основі сучасних наукових і технічних досягнень, її фундаменталізації, посилення уваги до дисциплін, що визначають стратегічний напрямок прогресу цивілізації. Фізика і математика, як відомо, належать до таких дисциплін.

Проблема удосконалення змісту природничонаукової і математичної освіти, подолання відставання її від сучасного стану науки дуже актуальна в період швидкого розвитку останньої. Однак, величезна кількість окремих теорій і експериментальних фактів, що з'являються, не можуть бути запроваджені в зміст відповідних дисциплін. Це і не потрібно. Необхідно учити, головним чином, не тому «що думати», а «як думати» з урахуванням світорозуміння відповідної епохи. Тому дидактичному засвоєнню підлягають у першу чергу ті напрямки розвитку науки, ті відкриття, що вносять нове в природничонаукову картину світу, змінюють представлення про наукову раціональність.

Останнім часом у літературі все частіше зустрічаються твердження про необхідність нового світорозуміння. Міждисциплінарний напрямок досліджень — синергетику, яка швидко розвивається, називають новою загальнонауковою методологічною дослідницькою програмою [1]. Її зв'язують зі становленням нового стилю наукового мислення (нелінійного), з істотними змінами в науковій картині світу. У подібних випадках говорять про наукові революції. Наприклад, якщо раніш фізичні системи розглядалися в їхньому процесі функціонування, то тепер на перший план виходять проблеми їхнього становлення, розвитку, еволюції.

Академік Т.І.Наан ще в середині минулого століття писав: «При анализе совокупности фактов, известных науке, трудно избавиться от подозрения, что список фундаментальных законов природы существенно не полон, что в нем не хватает, по крайней мере, одного очень общего закона. В самом деле, мы имеем закон или законы, ответственные, грубо говоря, за стабильность и преемственность мирового порядка. Это законы сохранения, прежде всего — закон сохранения энергии. Мы имеем другой закон, ответственный за направленность процессов природы, — второй закон термодинамики. Этот закон говорит об универсальной эволюции в направлении все большего беспорядка, хаоса, в направлении, если угодно, демобилизации энергии.

Между тем в природе мы наблюдаем самые разнообразные процессы, так сказать, антиэнтропийного характера, — процессы становления, если брать их в философском плане, процессы возникновения сложного из более простого». [2] Саме ці закони становлення складного, процеси самоорганізації і є об'єктом вивчення в синергетиці.

Таким чином, необхідність вивчення елементів синергетики для формування сучасного світорозуміння не викликає сумніву. У зв'язку з цим виникають проблеми відбору навчального матеріалу і створення відповідних програм в залежності від типу навчального закладу або спеціальності.

В останнє десятиліття з'являються методичні дослідження, що доводять необхідність і можливість вивчення основних ідей теорії самоорганізації в загальноосвітніх школах ([3], [4], [5]). Обґрунтовують це необхідністю формування цілісної сучасної картини світу, інтеграції гуманітарного і природничонаукового стилів мислення. Однак у цих роботах проблему можна вважати тільки поставленою. Зміст відповідного навчального матеріалу, місце та методику його вивчення треба ще визначити. Крім того, у вищих навчальних закладах Росії для гуманітаріїв обов'язковим є курс «Концепції сучасного природознавства», складовою частиною якого є синергетика і теорія систем. Однак відповідні їм глави носять характер популярного викладу.

Необхідністю формування сучасного світорозуміння значення синергетики для майбутніх учителів далеко не вичерпується. Останнім часом з'являються роботи, що доводять необхідність синергетичного підходу до організації системи освіти. Обговоренню цих проблем, розробці відповідних стратегій присвячений, наприклад, весь часопис «Вища освіта України» №2 за 2003 р.

Педагогіка має справу зі складними відкритими нелінійними системами (наприклад, зміст освіти, система знань і умінь учня тощо). Саме такі системи є об'єктом вивчення в синергетиці. Таким системам не можна нав'язувати шляхи розвитку. Необхідно зрозуміти, як сприяти розкриттю в них відповідних можливостей. Істотної зміни стану й еволюції складної нелінійної системи можна домогтися впливаючи на неї в нестійкому стані дуже слабо енергетично, але точно інформаційно. Один з засновників синергетики Г.Хакен займався розробкою синергетичного підходу до діяльності мозку, поведінки і пізнання. Таким чином, освітянам знання

основ синергетики необхідне для ефективної організації навчального процесу. Природно, що зараз — лише початковий етап проникнення ідей синергетики в педагогіку. Однак, безсумнівно, що при організації системи освіти властивості відкритих нелінійних систем треба враховувати. Усе вищевикладене доводить, що стандарти педагогічної освіти повинні передбачати вивчення елементів синергетики при підготовці учителів фізики та математики.

Відповідний курс вже кілька років вивчають майбутні магістри педагогічної освіти на фізико-математичному факультеті нашого університету. Розроблюється також відповідний спецкурс для майбутніх бакалаврів, учителів математики і фізики. Ми рекомендуємо також пропедевтичне вивчення відповідного матеріалу в курсах фізики, математичного аналізу, методів обчислень.

У загальному курсі фізики слід формувати поняття динамічної нестійкості, динамічного хаосу, сучасні уявлення про еволюцію складних систем. При формуванні поняття динамічної нестійкості, динамічного хаосу рекомендуємо користуватись моделями: газ Лоренца, зсув Бернуллі. Для динамічно нестійких систем властива сильна залежність від початкових умов. Стан системи характеризується деяким набором чисел. Ці числа завжди містять кінцеву кількість знаків, що обмежує точність опису. Таким чином, стан системи завжди характеризується не точкою у відповідному просторі, а невеликою областю, розміри якої залежать від довжини послідовності цифр, що задають число. Якщо система чутлива до початкових умов, точки цієї області будуть рухатися по траєкторіях, що з часом розходяться. Режим руху називається хаотичним, якщо спочатку дуже мала відстань з часом експоненціально зростає.

Досліджуючи зазначені вище динамічні системи, у тому числі за допомогою комп'ютерного моделювання, можна переконатися, що для них поняття траєкторії, взагалі кажучи, не має змісту. Необхідний статистичний опис.

Сучасні уявлення про еволюцію складних систем у загальному курсі фізики можна формувати на прикладах нестійкості Тейлора, вихрової доріжки Кармана, комірок Бенара, генерації електромагнітних хвиль, ефектів Ганна, Джозефсона, роботи лазера тощо. Порівнюючи явища самоорганізації в різних системах слід виявляти аналогію в їхньому протіканні при переході з неупорядкованого в упорядкований стан, виділяти загальне в механізмі процесів. Еволюція починається, коли критична флуктуація штовхає нерівноважну систему ще далі від нестійкого стану. Нова структура виникає в ході взаємодії флуктуацій, одна з яких швидко поширюється й охоплює всю систему.

На базі розглянутих прикладів у спецкурсі вводимо поняття параметра порядку, принципу підпорядкування. Процес еволюції розглядається як каскад дискретних епізодів (біфуркацій), кожний з яких приводить до появи більш складного ієрархічного рівня. Таким чином, ціль спецкурсу — виявити причини виникнення складних структур, зрозуміти природу і механізм процесів самоорганізації. Ми застосовуємо як методи нерівноважної термодинаміки, так і теорії динамічних систем (елементи якісного аналізу диференціальних рівнянь, елементи біфуркаційного аналізу та теорії хаосу). Багато деякі явища аналізувати як з тієї, так і з другої точок зору (Наприклад, найпростішу модель хімічного годинника — «брюсселятор»).

Проте додавання нових понять та уявлень до тих, що вже вивчались, недостатньо. Відомий математик, фізик-теоретик, філософ Г.Вейль писав, що наука мусить розвиватися в двох напрямках — по висхідній та низхідній лініях. Відкриття на передньому краю науки спричинюють необхідність періодичного аналізу її основ. Дидактична обробка нових наукових досягнень має супроводжуватися переглядом змісту з позицій сучасних уявлень тих понять, що вже вивчаються. Наведемо декілька прикладів.

1. Поняття ізольованої системи можна ввести як граничний випадок неізольованої системи при прагненні до нуля зовнішньої дії. Для стійких систем така границя існує і, отже, поняття має сенс. Для нестійких систем вона не існує. Тому для них поняття «абсолютна ізольована система», взагалі кажучи, не має змісту.

2. Відповідно до традиційної статистичної інтерпретації необоротність (у класичній фізиці) зумовлена макроскопічним рівнем опису оборотних на мікрорівні процесів і неповнотою нашого знання. Статистичний опис застосовується тому, що ми не здатні врахувати всі подробиці зіткнень часток газу. Це приводить до суб'єктивістської інтерпретації необоротності. Однак, необоротність, підкреслює І.Пригожин, — невід'ємна риса нашого життя. «В какой мере допустимо считать, что мы сами являемся результатом неполноты собственного знания, следствием того, что нашему наблюдению доступны лишь макроскопические состояния?»[6]. З урахуванням явища динамічної нестійкості необоротність і її імовірна інтерпретація набувають об'єктивний зміст. Необоротність на макрорівні з'являється там, де рух часток (мікроскопічний рівень опису) є динамічно нестійким.

3. Поняття необоротності, випадковості, флуктуації у сучасній науці не можна зв'язувати тільки зі збільшенням хаосу. Вони мають також важливе конструктивне значення. Наприклад, у точках біфуркації система випадковим образом «вибирає» шлях необоротної еволюції.

4. Вивчення елементів теорії самоорганізації є важливим для розуміння ролі динамічних і статистичних законів у сучасній науці. «Детерминистические законы физики, — пише І.Пригожин, — некогда бывшие единственно приемлемыми законами, ныне предстают перед нами как чрезмерные упрощения, почти карикатура на эволюцию.»[7] Знаменне признание, яке зробив президент Міжнародного союзу теоретичної і прикладної механіки в 1986 р.: «Мы глубоко сознаем сегодня, что энтузиазм наших предшественников по поводу великопепных достижений ньютоновской механики побудил их к обобщениям в этой области предсказуемости, в которые до 1960г. мы все верили, но которые, как мы теперь понимаем, были ложными. Нас не покидает коллективное желание признать свою вину за то, что мы вводили в заблуждение широкие круги

образованных людей, распространяя идеи о детерминизме систем, удовлетворяющих законам движения Ньютона, — идеи, которые мы, как выяснилось после 1960г., оказались неправильными.» ([8], с.97)

Навоколишній світ керується не детерміністичними законами і не абсолютною випадковістю. Детермінізм і стохастика — два граничних випадки опису складних систем.

5. Синергетика показує обмеженість звичного для фізиків редукціонізму — усі властивості системи не можна вивести з властивостей її частин і їхньої взаємодії. Система, що самоорганізується, визначає спосіб поводження її частин.

Деякі автори намагаються зв'язати процеси утворення складних структур з антропними властивостями Всесвіту. (Наприклад, [9]). Складність Всесвіту, яку ми спостерігаємо, визначається дуже вузьким діапазоном значень фундаментальних констант. Для існування на макрорівні складних систем необхідно, щоб елементарні процеси на мікрорівні протікали дуже вибірно.

Антропний принцип, природно, можна розглядати незалежно від синергетики. Йому, на нашу думку, при вивченні фізики приділяється занадто мало уваги. Аналізом антропних властивостей Всесвіту займалися видатні фізики: П.Дирак, А.Д.Сахаров, Я.Б.Зельдович і інш.

Ми рекомендуємо розгляд антропних властивостей у відповідних розділах фізики й астрофізики. Це дає можливість: інтегрування знань, що стосуються різних структурних рівнів організації матерії; активізації пізнавальної діяльності, розвитку інтересу до предмета; посилення гуманітарної компоненти фізичної освіти.

Під антропними властивостями Всесвіту розуміється наступне:

- структура багатьох природних систем визначається невеликою кількістю фундаментальних констант;
- у багатьох випадках дуже маленька зміна значення хоча б однієї з констант викликала б радикальну зміну процесу еволюції і виникнення життя у відомій нам формі було б неможливим.

При розгляді цих питань корисні проблемні ситуації, які використовують протиріччя між інтуїтивними уявленнями та точним висновком. Інтуїтивно здається, що відносно невелика зміна чисельних значень фундаментальних постійних лише трохи змінить деякі кількісні характеристики фізичної картини світу, залишивши якісно її незмінною. Однак розрахунки показують, що дуже невелике змінювання хоча б однієї з констант, спричинює різкі якісні зміни, втрату стійкості деяких структур, випадіння певних ланок еволюції Всесвіту.

Подібних розрахунків можна провести безліч, змінюючи масу протона або електрона, або яку-небудь з констант взаємодії тощо. Наприклад, якщо збільшити масу протона на 0,1 %, нейтрон буде стабільним. Це змінить співвідношення протонів і нейтронів у Всесвіті, основним елементом буде не протон, а гелій. При цьому зміниться б характер термоядерних реакцій у зірках, вони б швидко вибухали. Якщо ж масу протона зменшити на 0,1 %, він стане нестабільним у вільному стані з відповідними наслідками. Таким чином, мається тонке підстроювання мас кварків, з яких складаються нуклони, й електрона.

Якщо трохи збільшити константу сильної взаємодії, то протон — протонна реакція в зірці  $p + p \rightarrow (p, n) + e^+ + \nu$  (слабка взаємодія) зміниться на  $p + p \rightarrow He^2 + \gamma$  (сильна взаємодія). Час протікання реакції обернено пропорційний інтенсивності взаємодії. Тому друга реакція протікала б приблизно в  $10^{14}$  разів швидше, і весь водень вигорів би на ранніх стадіях існування Всесвіту.

Одна зі стадій зоряного нуклеосинтезу полягає в утворенні з двох  $\alpha$ -часток ядра  ${}^8\text{Be}$ . Однак останнє є нестабільним. Розпадається воно швидше, ніж утворюється. Як же тоді виникають важкі елементи? Виявляється, в ядрі вуглецю існує енергетичний рівень 7,65 МеВ, який на 0,3 МеВ більше суми мас ядер  ${}^4\text{H}$  і  ${}^8\text{B}$ .

Цей рівень резонансно підсилює імовірність реакції  $3\alpha \rightarrow {}^{12}\text{C}$ . Якщо цього енергетичного рівня не було б, то Всесвіт був би надзвичайно бідний вуглецем. Отже, не могло б виникнути життя у відомій нам формі. «Когда смотришь на диаграмму энергетических уровней ядра  ${}^{12}\text{C}$ , ... душу охватывает чувство глубокой благодарности к уровню 7,65 МеВ за то, что он не спустился на 0,5 МеВ ниже. Какой малый запас прочности у всего, что нам так дорого!» [10]

Загальноприйнятого пояснення антропних властивостей Всесвіту в сучасній науці ще не існує. Доречні слова А.Д. Сахарова: «Некоторые авторы считают антропологический принцип неплодотворным и даже несоответствующим научному методу. Я с этим не согласен. Замечу, в частности, что требования применимости фундаментальных законов природы в существенно иных, чем в нашей Вселенной, условиях может иметь эвристическое значение для нахождения этих законов.» [10].

#### Література

1. Добронравова И.С. Синергетика: становление нелинейного мышления. — К.: Лыбидь, 1990.
2. Наан Г.И. В кн.: «Философские проблемы современного естествознания». — М., Изд-во АН СССР, 1959.
3. Зорина Л.Я. Отражение идей самоорганизации в содержании образования // Педагогика, 1996, № 4.
4. Зорина Л.Я. Единство двух культур в содержании непрерывного образования // Педагогика, 1998, №5.
5. Виненко В.Г. Синергетика в школе // Педагогика, 1997, № 2.
6. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса: новый диалог человека с природой. — М., Прогресс, 1987.
7. Пригожин И. От существующего к возникающему. — М., Наука, 1985.
8. Пригожин И., Стенгерс И. Время, хаос, квант. — М., Прогресс, 1994.
9. Николис Дж. Динамика иерархических систем. Эволюционные представления. — М., 1984.
10. Окунь Л.Б. Фундаментальные константы физики // УФН, 1991, № 9.