

## ГРАФИЧЕСКІЯ ЗАНЯТІЯ ПО ФИЗИКЪ ВЪ ВЫСШИХЪ НАЧАЛЬНЫХЪ УЧИЛИЩАХЪ.

Значеніе графическаго метода въ преподаваніи математики за послѣднее время отчасти выяснено. Съ каждымъ годомъ число сторонниковъ его увеличивается. Правда, нѣтъ еще учебниковъ по математикѣ съ послѣдовательно проведеннымъ графическимъ методомъ, но частично графическіе приемы затронуты уже многими авторами (Лебединцевъ, Астрябъ и др.). По методикѣ графики можно найти болѣе или менѣе подробныя указанія и разъясненія<sup>1)</sup>. Нѣсколько позднѣе графическій методъ завоевалъ себѣ почетное положеніе въ географіи. Сначала (если не считать картографію) появились наглядныя пособія графическаго характера (діаграммы Озерова, Курдова), затѣмъ графики проникли и на классную доску и въ тетради учениковъ. Изданы даже руководства къ примѣненію графики на

<sup>1)</sup> 1. Д ж. П е р р и. Практическая Математика.

2. О л. Л о д ж ъ. Легкая математика.

3. Г. Н ѣ ю с о н ъ. Графическая алгебра.

4. Н. А. Т о м и л и н ъ. Роль графическаго метода при обученіи математикѣ.

урокахъ географіи<sup>1)</sup>). Конечно, въ общемъ графики примѣняются немногими наиболѣе подвижными и энергичными преподавателями. Но... во всякомъ дѣлѣ трудно лишь начало.

Есть однако область знанія, гдѣ безъ графики трудно обходиться и тѣмъ не менѣ послѣдняя здѣсь отсутствуетъ. Мы говоримъ о физикѣ.

Уравненіе понятно и безъ графики, представленіе о картинахъ народнаго или государственнаго хозяйства можно создать и при помощи округленныхъ числовыхъ данныхъ, но усвоить, напримѣръ, таблицы плотностей различныхъ тѣлъ, температуры кипѣнія жидкостей при нормальномъ давленіи и т. п. положительно нѣтъ никакой возможности, тѣмъ болѣе что методъ округленія числовыхъ данныхъ въ физикѣ не примѣнимъ. Приходится брать изъ таблицъ лишь нѣкоторыя наиболѣе характерныя данныя и «внѣдрять» ихъ въ сознаніе учащихся всѣми возможными способами, имѣя дѣло, конечно, исключительно съ памятью. Физика не можетъ обходиться безъ таблицъ и числовыхъ данныхъ. Даже самые элементарные учебники послѣдняго времени оперируютъ съ ними въ достаточномъ количествѣ. Въ книгѣ «П. Барановъ, Начальная физика» насчитывается 13 мѣстъ, гдѣ примѣненіе графикъ помогло бы усвоенію числовыхъ соотношеній, при чемъ количество числовыхъ данныхъ въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ колеблется между 2 и 24. Въ учебникѣ «А. Цингеръ, Начальная физика» числовыя представленія изобилуютъ, хотя нельзя не отмѣтить, что этотъ авторъ уже дѣлаетъ слабую попытку примѣненія графикъ (графическое изображеніе удѣльныхъ объемовъ различныхъ тѣлъ, линейное расширеніе различныхъ стержней при нагрѣваніи отъ 0° до 100°). Книги прежнихъ авторовъ (Краевичъ, Ковалевскій, Малининъ, Соколовъ и др.) почти злоупотребляютъ числовыми данными и тѣмъ не менѣ предоставляется «генію» учителя бездушный рядъ чиселъ дѣлать удобоусвояемымъ.

Намъ могутъ возразить, что заучиваніе различныхъ числовыхъ соотношеній въ физикѣ необязательно. Къ этому въ большинствѣ случаевъ и сводилось преподаваніе. Но вслѣдствіе этого важнѣйшія свойства тѣлъ ускользали изъ поля зрѣнія учащихся. Пояснимъ примѣромъ. Критическая температура хлора +141°; при температурѣ, близкой къ критической, хлоръ обращается въ жидкое состояніе подъ давленіемъ 83,9 атмосферъ. При нормальномъ давленіи жидкое состояніе хлора получается при температурѣ —36,6°. Эти

---

<sup>1)</sup> И. П. П о д д у б н ы й. Пособіе къ составленію діаграммъ и картограммъ при самостоятельныхъ работахъ учащихся по графическому изображенію статистическихъ данныхъ географіи Россіи.

числовыя соотношенія очень поучительны, потому что характеризуют хлоръ, какъ газъ, сравнительно легко обращающійся въ жидкое состоянiе даже при обычныхъ температурахъ. Графики въ состоянiи притти на помощь памяти въ дѣлѣ усвоенiя этихъ соотношенiй.

Иногда достаточно имѣть лишь нѣкоторыя интересующiя насъ данныя, чтобы получить всѣ остальные, даже не имѣющiяся въ таблицахъ, но почему либо необходимыя. При давленiи 9,14 mm. температуры кипѣнiя воды  $+10^{\circ}$ , при давленiи 31,51 mm. температура кипѣнiя  $+30^{\circ}$ , при нормальномъ давленiи (760 mm.) температура кипѣнiя  $+100^{\circ}$ . Если на основанiи этихъ данныхъ построить «кривую», то она дастъ всѣ промежуточныя температуры кипѣнiя воды при соответствующихъ имъ давленiяхъ. Это упражненiе приводится нами какъ примѣръ и н т е р п о л и р о в а н i я, т. е. опредѣленiя всѣхъ промежуточныхъ числовыхъ соотношенiй.

Въ будущемъ примѣненiе графики, безусловно, расширится. Поклонникъ ея, проф. Перри приводитъ въ примѣръ даже такой фактъ: «однажды я засѣдалъ въ одномъ комитетѣ, когда директоръ пытался выяснитъ, почему въ нѣкоторыхъ классахъ число учениковъ стало постоянно убывать. Отъ нечего дѣлать я соорудилъ координатную бумагу, совсѣмъ грубо и нанесъ на нее числа; тогда стало ясно, что въ опредѣленное время произошелъ нѣкоторый инцидентъ, послужившiй причиной всего несчастья. Такимъ образомъ, явилась возможность исправить недочетъ». Въ данномъ случаѣ мы видимъ, что графика уже вторглась въ область психологiи. Впрочемъ, это вполне понятно, если вспомнитъ, что многiя психологическiя положенiя имѣютъ теперь математическое обоснованiе и формулировку (Законъ Фехнера-Вебера).

Самыми простыми и понятными графиками являются отрѣзки разной длины, прямоугольники, круги, секторы, кубы и т. д.

Этими графиками приходится пользоваться во всѣхъ тѣхъ случаяхъ, когда требуется закрѣпить въ памяти учащихся цѣлый рядъ какихъ-либо числовыхъ данныхъ или соотношенiй. Кромѣ опредѣленнаго звукового комплекса, на помощь памяти будетъ приходиться зрительный образъ, который облегчитъ усвоенiе материала, ставшаго достоянiемъ зрительной памяти.

Построенiе такихъ графикъ на урокахъ физики не встрѣтитъ никакихъ затрудненiй съ технической стороны, такъ какъ ученики приобрѣтаютъ навыкъ владѣть чертежными инструментами (линейкой, наугольникомъ, циркулемъ) еще въ первомъ классѣ училища.

Для графическихъ занятiй придется каждому ученику завести отдѣльную тетрадь (въ ней же можно записывать и всѣ тѣ свѣдѣнiя

которых нѣтъ въ учебникѣ, а также и зарисовывать постановку различныхъ опытовъ). Обычно для графическихъ занятій употребляется такъ называемая миллиметровая координатная бумага (клетка ея представляет  $\text{mm}^2$ ). Къ сожалѣнію, русскія фабрики не изготовляютъ такую бумагу<sup>1)</sup>. Приходится довольствоваться тетрадями изъ обыкновенной клетчатой бумаги (такія тетради употребляются для ариеметики), при чемъ клетки должны быть, по возможности, мелкими. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ потребуются цѣлые полулисты, ихъ можно получить изъ каждой тетради, расширивъ ее.

Для примѣра приведемъ нѣсколько графическихъ упражненій. Въ своемъ изложеніи мы будемъ держаться приблизительно плана книги «П. Барановъ, Начальная физика».

У п р а ж н е н і е 1. Процентный составъ воздуха: а) по объему и б) по вѣсу.

Для всѣхъ графикъ, гдѣ числовыя данныя выражаются въ процентахъ, очень удобно брать квадратную (10 клетокъ длина и 10 ширина) или прямоугольную діаграмму съ такимъ расчетомъ, чтобы площадь ея имѣла также 10 клетокъ ( $20 \times 5$ ). Чтобы увеличить размѣръ, можно считать нѣсколько клетокъ за одну. Если имѣется возможность, то лучше всего отдѣльныя части закрашивать (пастелью или красками) въ разные цвѣта; въ противномъ случаѣ ихъ можно заштриховать разными штрихами, хотя это и не такъ наглядно. Рядомъ съ діаграммой помѣщаются числовыя данныя (приблизительно, съ точностью до 0,5).

а) Составъ воздуха по объему: Азота—78,4 части, Кислорода—20,9 ч., Аргона—0,6 ч., Углекислоты и др. газовъ 0,1 ч., всего 100 ч.

б) Составъ воздуха по вѣсу: Азота 75,9 ч., Кислорода—23 ч., Аргона—1 ч., Углекислоты и др. газовъ 0,1 ч., всего 100 ч.

У п р а ж н е н і е 2. Составъ воды.

Такъ какъ здѣсь числовыя соотношенія очень просты и числовыхъ данныхъ лишь два, то для ихъ иллюстраціи очень подходитъ простая діаграмма въ видѣ горизонтальнаго или вертикальнаго столбика, а еще лучше круговая діаграмма<sup>2)</sup>.

Вѣсовой составъ воды: Кислорода—8 ч., Водорода—1 ч.

Объемный составъ воды: Кислорода—1 ч., Водорода—2 ч.

---

1) Въ продажѣ имѣется хорошая заграничная бумага цѣною по 2 руб. 45 коп. за кусокъ въ 20 метр. (въ розницу обычно не продается).

Авторъ.

2) Въ цѣляхъ легкости выполненія большая составная часть обычно не и не закрашивается, хотя это и не совсѣмъ наглядно.

Авторъ.

Въ 1 и 2 упражненіяхъ мы умышленно приводимъ объемный и вѣсовой составъ воздуха и воды, чтобы графическимъ путемъ доказать ученикамъ, что плотности газовъ различны.

У п р а ж н е н і е 3. Термометрическія шкалы: Цельзія, Реомюра и Фаренгейта.

Вычерчиваются 3 одинаковыхъ вертикальныхъ столбика. Первый дѣлится на 5 ч., второй — на 4 и третій — на 9 ч. Закрашивается лишь одна часть въ столбикѣ (объяснить, что каждая часть содержитъ  $20^0$ ).

У п р а ж н е н і е 4. Сравненіе метрическихъ мѣръ съ русскими. Графики, какъ и предыдущія. Здѣсь уместно ввести понятіе о масштабѣ, если ученики не познакомились съ нимъ раньше (на урокахъ географіи или геометріи).

У п р а ж н е н і е 5. Таблица плотностей: а) твердыхъ тѣлъ и б) жидкихъ тѣлъ.

Для выясненія плотностей различныхъ тѣлъ придется воспользоваться понятіемъ «удѣльный объемъ», какъ это сдѣлалъ А. В. Цингеръ въ своей книгѣ. Въ физикѣ подъ именемъ «удѣльнаго объема» извѣстенъ объемъ, занимаемый однимъ граммомъ вещества. «Удѣльный объемъ» величина обратно-пропорціональная плотности. Чтобы охарактеризовать удѣльные объемы твердыхъ тѣлъ, придется представить ихъ на бумагѣ, напримѣръ, въ видѣ прямоугольниковъ (разрѣзъ прямой призмы), начиная съ платины, которая имѣетъ наибольшую плотность и, слѣдовательно, наименьшій удѣльный объемъ. Длина прямоугольниковъ будетъ возрастать обратно-пропорціонально плотности тѣлъ. Противъ каждого прямоугольника ставится соотвѣтствующая плотность.

Удѣльный объемъ твердыхъ тѣлъ: Платина — 21,5, Золото — 19,3, Свинецъ — 11,3, Серебро — 10,5, Мѣдь — 8,9, Желѣзо — 7,8, Олово — 7,3, Цинкъ — 7,1, Аллюминій — 2,6, Стекло — 2,5—2,7. Ледъ (при  $0^0$ ) — 0,92, Воскъ — 0,9.

Удѣльный объемъ жидкихъ тѣлъ.

«Удѣльные объемы» жидкихъ тѣлъ представляются удобнѣе въ видѣ стеклянныхъ цилиндрическихъ сосудовъ, въ которые до опредѣленной высоты наливаются жидкости.

У п р а ж н е н і е 6. Законъ Бойля-Мариотта.

Зависимость между объемомъ газа и давленіемъ на него проще всего можно иллюстрировать столбиками, при чемъ давленіе будетъ выражаться столбиками надъ горизонтальной чертой, а объемъ — подъ ней. Придется начертить три пары столбиковъ: 1) равны 2) верхній вдвое больше нижняго и 3) наоборотъ.

Упражнение 7. Построение гаммы.

Кромѣ выраженія числа колебаній въ видѣ ряда постепенно повышающихся вертикальныхъ столбиковъ, здѣсь умѣстно также дать и правильное разстояніе между ними; напримѣръ, тонъ — разстояніе 4 клѣтки, а полутонъ — 2 клѣтки.

Это упражненіе служитъ переходной ступенью къ вычерчиванію «кривыхъ».

Упражнение 8. Графическая запись термометрическихъ и барометрическихъ наблюденій. «Кривая» наблюденій.

Роль наблюденій въ физикѣ громадна. Къ нимъ необходимо приучаться постепенно.

Какъ только учащіеся познакомятся съ термометромъ и барометромъ, придется завести особую тетрадь для ежедневной записи термометрическихъ и барометрическихъ данныхъ.

Наблюденія дѣлаются 1 разъ въ день, лучше всего утромъ, передъ уроками. Барометръ можетъ находиться даже въ классѣ, такъ какъ это почти не вліяетъ на его показанія; термометръ долженъ быть на улицѣ (и не на солнечной сторонѣ).

Запись ведется по такой формѣ<sup>1)</sup>.

День	Мѣсяцъ и число	Часъ	Термометръ	Барометръ	Общая замѣчанія о силѣ вѣтра и погодѣ.	Фамилія наблюдателя.
Понедѣльникъ	Сент. 9	8 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	+7	753	Слабый вѣтеръ; солнечно	Алексѣевъ
Вторникъ . . .	10	8 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	+4	756	Средній вѣтеръ; солнечно	Апраксинъ
Среда . . . . .	11	8 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	—1	761	Слабый вѣтеръ; ясно	Большаковъ
Четвергъ . . .	12	8 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	0	766	Слабый вѣтеръ; ясно	Борзиковъ
Пятница . . .	13	8 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	—1	770	Средній вѣтеръ; ясно	Венедиктовъ
Суббота . . .	14	8 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	+7	771	Слабый вѣтеръ; ясно.	Гонтаевъ.

Полученный за недѣлю матеріалъ наносится на миллиметровую бумагу въ видѣ двухъ «кривыхъ» (разныхъ цвѣтовъ или строеній).

Первоначально строится прямой уголъ (квадрантъ), одна сторона котораго горизонтальна (абсцисса), а другая вертикальна (ордината).

<sup>1)</sup> Образецъ записи представляетъ изъ себя копию таковой ведущейся подъ руководствомъ автора. Всѣ данныя взяты изъ тетради «для наблюденій».

Время (равные промежутки) откладывается отъ вершины угла по абсциссѣ, а температура и давленіе — по соотвѣтствующимъ ординатамъ. Внѣшній видъ полученныхъ кривыхъ даетъ полную картину измѣненій температуры и давленія за данное время.

**З а к л ю ч е н і е.** «Кривая» температуры и давленія за періодъ времени отъ 9 по 15 сент. свидѣтельствуютъ, что наша мѣстность, вѣроятно, находится въ сферѣ антициклона.

**У п р а ж н е н і е 9.** Температуры плавленія или затвердѣванія тѣлъ.

Эти температуры выражаются вертикальными столбиками надъ горизонтальной чертой и подъ ней, при чемъ вводится условіе, что отрицательныя температуры помѣщаются подъ чертой, а положительныя — надъ чертой.

**У п р а ж н е н і е 10.** Температуры кипѣнія воды при различныхъ давленіяхъ.

Строится «кривая», при чемъ температуры откладываются на абсциссѣ, а давленія — на ординатахъ.

**У п р а ж н е н і е 11.** Температуры кипѣнія нѣкоторыхъ тѣлъ при нормальномъ давленіи.

Диаграммы строятся такъ же, какъ и въ упр. 9.

**У п р а ж н е н і е 12.** Критическія температуры газовъ.

Критическія температуры газовъ находятся въ ближайшей связи съ давленіемъ, при которомъ газы переходятъ въ жидкое состояніе при температурѣ, близкой къ критической. Для характеристики газа интересна еще та температура, при которой газъ переходитъ въ жидкое состояніе при нормальномъ давленіи («температура кипѣнія газа»). А потому для иллюстраціи критическихъ температуръ можемъ воспользоваться образцомъ упр. 9 и построить 3 графики. Еще лучше вычертить 3 соотвѣтствующія «кривыя», тогда связь между критической температурой и давленіемъ выяснится нагляднѣе.

**У п р а ж н е н і е 13.** Линіи движеній: а) равномерное движеніе.

На абсциссѣ откладывается время (равные промежутки), а на ординатѣ скорость (равная).

б) Равноускоренное движеніе.

На абсциссѣ время (равные промежутки), а на ординатахъ — скорость (постепенно возрастающая).

Ординаты здѣсь (въ обоихъ случаяхъ) представляютъ путь, пройденный тѣломъ въ извѣстное время. По нимъ же легко опредѣлить скорость какого угодно промежутка времени.

Для выясненія законовъ паденія полезно ознакомиться съ 2 «кривыми»: 1) паденіе тѣла, брошеннаго горизонтально и 2) паденіе

тѣла, брошеннаго наклонно. Техника ихъ вычерчиванія не представляетъ затрудненій.

Не злоупотребляя графикой, можно значительно продолжить рядъ физическихъ примѣровъ, гдѣ графическая иллюстрація полезна и даже необходима (теплоемкость различныхъ тѣлъ, электродвижущая сила элементовъ и т. д.). Въ этомъ отношеніи школьная физика является такимъ же обширнымъ полемъ (пока еще не вспаханнымъ), какъ и географія.

Мы не настаиваемъ на проведеніи всѣхъ тѣхъ упражненій, которыя выше были приведены. Каждый преподаватель прекрасно «чувствуетъ», какая часть курса въ томъ или иномъ случаѣ нуждается въ подкрѣпленіи. Если нѣтъ времени для систематическаго примѣненія графикъ при первоначальномъ прохожденіи предмета, то возможно и удобно вспомнить о нихъ при повтореніи. Отъ этого матеріаль, уже отчасти устарѣвшій для учениковъ, пріобрѣтетъ новый интересъ и сосредоточитъ на себѣ ихъ вниманіе.

Въ физикѣ есть положенія, требующія детальнаго выясненія въ виду ихъ практической важности, а между тѣмъ учебники обычно игнорируютъ эти положенія. Кто не знаетъ, что ртутный и спиртовой термометръ почти всегда расходятся въ показаніяхъ (даже при строгой точности ихъ устройства), но врядъ ли многіе ясно представляютъ себѣ причину этого явленія (неравномѣрность расширенія при нагрѣваніи и сжатія при охлажденіи ртути и спирта).

«Кривая» расширенія этихъ жидкостей при нагрѣваніи очень хорошо уяснить разницу въ показаніяхъ термометровъ и опредѣлить «поправку».

Примѣненіе графика на урокахъ физики не только поможетъ изученію предмета, но и сдѣлаетъ усвоеніе его болѣе сознательнымъ и глубокимъ. Мы уже говорили, что числовыя соотношенія или совершенно не воспринимаются учащимися или, будучи восприняты, составляютъ мертвый капиталъ для его обладателей, балластъ, обременяющій память. Для статистика или спеціалиста въ извѣстной отрасли знаній число представляетъ изъ себя картину, для ученика эту картину поможетъ создать только графика. Наконецъ, школа о б ѣ з а н а познакомитъ своихъ питомцевъ съ графическимъ методомъ уже и потому, что послѣдній всюду завоевываетъ себѣ прочное положеніе.

Вотъ почему графика должна получить себѣ мѣсто въ школьномъ преподаваніи.

*А. В. Ланковъ.*