

Unes quantes demostracions de química espectaculars i útils

Some spectacular and useful demonstrations of chemistry

Maurice Cosandey / Vicepresident de l'Associació Suïssa de Professors de Química, promotor de la participació de Suïssa a l'Olimpíada Internacional de Química



resum

A l'article es presenten experiències pràctiques de química que he utilitzat a les meves classes com a professor de secundària d'alumnes suïssos de disset i divuit anys. Les reaccions i la manera de presentar-les a l'alumnat exposades en aquest treball m'han demostrat que són útils per a l'aprenentatge de la química i que motiven els alumnes. Aquests havien de fer les reaccions, anotar les seves observacions i fer càlculs de determinades quantitats. A l'article es mostren també les respostes esperades de l'alumnat.

paraules clau

Química pràctica, laboratori, reaccions químiques, química a secundària.

abstract

In this article, practical chemistry experiences which I implemented in my upper-secondary classes in Switzerland are presented. The chemical reactions described in this work and the way of presenting them to students, have shown to be useful and help to motivate students to learn chemistry. Pupils had to make the reactions, take notes of their observations and calculate some quantities. In this paper the students' expected answers are presented.

keywords

Practical chemistry, laboratory, chemical reaction, secondary school chemistry.

Treballs pràctics de química a Suïssa

A Suïssa, l'ensenyament escolar és obligatori fins als setze anys, però la formació en química no és ni sistemàtica, ni obligatòria, i varia molt d'una escola a una altra. No hi ha un ensenyament continuat de la química als diferents cursos, sinó que sovint queda fragmentat, en el sentit que els estudiants poden tenir cursos amb ensenyament de la química i d'altres en els quals no se'n faci. Així, doncs, podem dir que l'ensenyament de la química queda fragmentat. En acabar l'ensenyament obligatori, als setze anys, molts alumnes deixen d'estudiar.

Del total de l'alumnat, aproximadament una tercera part continua els estudis, durant tres cursos més, en una escola que a vegades s'anomena *gymnase* i a vegades *lycée*, segons els cantons. En sortir d'aquesta escola, els estudiants passen un examen anomenat *maturité* (maduresa), que els permet accedir a la universitat o a altres escoles superiors. Els alumnes de disset i divuit anys segueixen una formació en química sòlida i organitzada que comprèn un mínim de dues hores de classe setmanals durant, com a mínim, dos anys; la gestió dels treballs pràctics queda sota la responsabilitat del professorat.

Gestió del treball al laboratori

En aquest treball es presenta l'opció que he utilitzat durant els meus anys de professor de química a l'École Polytechnique Fédérale de Lausana (Suïssa) amb l'objectiu de treure el màxim partit de les hores de classe pràctiques de química. Els alumnes fan treballs pràctics quinzenals en sessions de dues hores, amb uns dotze alumnes treballant per parelles. L'alumnat és guiat en el seu treball de la manera següent: cada estudiant porta un quadern de laboratori en el qual ha d'anotar el que el professor li demana.

En general, el professor reparteix les instruccions per fer la

pràctica en un document escrit, de manera que a cada paràgraf hi ha una instrucció determinada (manipulació, observació, càlculs, etc.); cada estudiant retalla amb unes tisores el text en paràgrafs i enganxa els trossos separats al seu quadern, tot deixant espai per escriure-hi les seves observacions i mesures. En general, el professor dóna un full de paper als alumnes que descriu les manipulacions que han d'efectuar. Al final de la sessió de dues hores, els alumnes presenten els quaderns al professor, que els corregeix per a la propera sessió.

A tall d'exemple, la fig. 1 mostra una pàgina del quadern d'un alumne.

Demostracions sobre reactivitat dels metalls i orientacions per al professorat

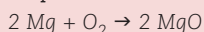
Tot seguit, en aquest article es presenten alguns d'aquests treballs pràctics per estudiar la reactivitat dels metalls. El text que es dóna als alumnes es presenta en caràcters rodons, mentre que les possibles respostes esperades dels alumnes es presenten en caràcters en cursiva i estan intercalades entre els paràgrafs de dades.

Combustió del magnesi: Mg i estequiometria

Procediment i respostes

1. Peseu un tros de magnesi d'aproximadament 5 a 10 cm de llarg. Anoteu aquest pes. Agafeu-lo per un extrem amb una pinça metàl·lica. Mantenint fixament, sense moure-la, la cinta de magnesi a uns 20 cm per sobre d'un plat, enceneu l'extrem al bec Bunsen. No fixeu la mirada en la reacció, ja que és enlluernadora, i no us mogueu fins al final de la combustió. Observeu el fum blanc que s'escapa (fig. 2). A continuació, deixeu caure les cendres d'òxid de magnesi, MgO, al plat. Escriviu l'equació de la combustió. Quina massa de MgO s'hauria d'obtenir?

Resposta



76 mg Mg, o bé 3,1 mmol Mg; 3,1 mmol MgO = 125 mg MgO

2. Peseu a continuació les cendres blanques de MgO sense l'estella de Mg que no ha cremat (és a dir, la que ha quedat a la pinça). Calculeu el nombre de mil·limols de Mg que han cremat i els de MgO recollits. Quina proporció de Mg (o de MgO) ha marxat en fum?

Resposta

$m(\text{MgO})_{\text{recollit}} = 24 \text{ mg}$; $n(\text{MgO})_{\text{recollit}} = 0,6 \text{ mmol}$

$m(\text{Mg})_{\text{restant}} = 3 \text{ mg}$; $m(\text{Mg})_{\text{cremat}} = 76 - 3 = 73 \text{ mg}$; $n(\text{Mg})_{\text{cremat}} = 3,0 \text{ mmol}$

Rendiment: $(0,6 \text{ g}/3,0 \text{ g}) \times 100 = 20 \%$; el 80 % ha marxat en fum.

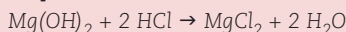
3. Passeu el residu de MgO a un tub d'assaig amb 3 mL d'aigua. Bulliu-ho. Refredeu-ho amb aigua corrent. Afegiu-hi dues gotes de blau de bromotimol. La solució conté una substància que tant pot ser $\text{Mg}(\text{OH})_2$ com H_2MgO_2 . Quina de les dues fórmules és la correcta? Per què?

Resposta

$\text{MgO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Mg}(\text{OH})_2$; és una base, perquè l'indicador blau de bromotimol s'ha quedat acolorit de color blau, mentre que si fos un àcid (H_2MgO_2), seria de color groc.

4. Afegiu-hi 3 mL d'HCl 2 M. Agiteu-ho i escalfeu-ho fins a dissoldre el residu. La solució conté ara MgCl_2 . Escriviu l'equació. Per què ara la solució és de color groc?

Resposta



La solució és de color groc perquè és el color que agafa el blau de bromotimol a pH inferiors a 6,0. El color groc indica que hi ha un excés d'àcid.

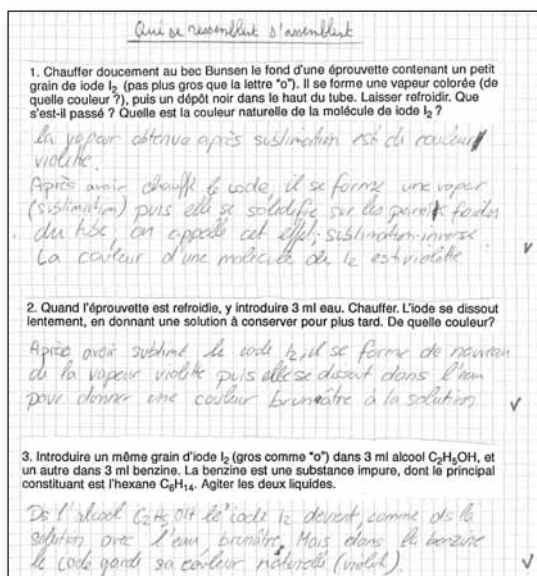


Figura 1. Exemple d'una pàgina del quadern de laboratori amb les respostes de l'estudiant.



Figura 2. L'autor fent la demostració de la combustió d'un metall.

Orientacions per al professorat

En aquest experiment no es té en compte que la combustió del magnesi amb l'aire forma també una mica de nitrur de magnesi, Mg_3N_2 , juntament amb l'òxid, MgO , segons l'equació següent:

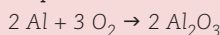
$3 Mg + N_2 \rightarrow Mg_3N_2$, ni que aquest nitrur reacciona amb aigua:
 $Mg_3N_2 + 6 H_2O \rightarrow 3 Mg(OH)_2 + 2 NH_3$.

La solució bàsica obtinguda al pas 3 es deu, en part, a la presència de NH_3 .

Química de l'alumini**Procediment i respostes**

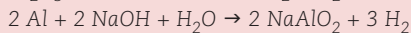
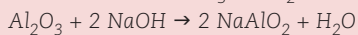
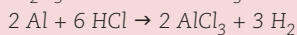
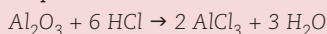
L'alumini és un metall molt actiu, però la seva activitat està suprimida per una fina pel·lícula transparent i adherida d'òxid, Al_2O_3 (o alumina). Per tal de comprovar-ho, es proposa l'experiment següent:

1. Retalleu un tros de paper d'alumini i aguanteu-lo amb les mans, com si fos un diari, però verticalment, sobre la flama del Bunsen: el metall es fon i cau dins la bossa d'alumina, Al_2O_3 . Queda un full rígid, fràgil i transparent. Observeu-lo per transparència a contrallum: la llum el travessa! Escriviu l'equació de la formació de l'òxid a partir del metall a l'aire.

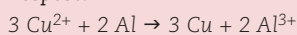
Resposta

2. Prepareu 3 mL d'HCl 2 M en un tub d'assaig i 3 mL de NaOH 2 M en un altre. Afegiu-hi uns trossets d'alumini (no de paper d'alumini, que quedaria enganxat a les parets). A cada tub tenen lloc dues reaccions en sèrie: la primera, invisible, és l'atac de l' Al_2O_3 per HCl o NaOH; la segona, que té lloc bastant ràpidament amb NaOH, allibera bombolles de gas H_2 : és l'alumini, que és atacat tant pel NaOH com per l'HCl. Es pot inflamar el gas H_2 que s'ha format (fig. 3).

3. Escriviu les quatre equacions que es produeixen entre l' Al_2O_3 o Al, d'una banda, i HCl o NaOH, de l'altra, sabent que els compostos finals són $AlCl_3$ o $NaAlO_2$.

Resposta

4. Poseu una punta d'espàtula de $CuCl_2$ en un tub d'assaig que conté 3 mL d'aigua i la mateixa quantitat de $CuSO_4$ en un altre tub d'assaig. Agiteu-los fins que es dissolguin. Afegiu a cada tub uns trossets d'alumini enrotllats en forma de cilindres. Tot seguit, s'observa la formació d'un precipitat marró ennegrit de coure metàl·lic al primer tub, però no passa res al segon. L'explicació es troba en el fet que al primer tub es produeixen dues reaccions en sèrie. Primer, l'alumina reacciona amb l'ió clorur, Cl^- , formant el complex $AlCl_4^-$, segons la fórmula següent: $Al_2O_3 + 8 Cl^- + 3 H_2O \rightarrow 2 AlCl_4^- + 6 OH^-$. Després, el metall Al alliberat per la desaparició de la capa d'alumina pot reduir l'ió Cu^{2+} a coure metàl·lic. Escriviu l'equació.

Resposta

Observeu que l'ió SO_4^{2-} no reacciona amb Al_2O_3 , ja que no existeix un complex entre Al i SO_4^{2-} semblant a $AlCl_4^-$.

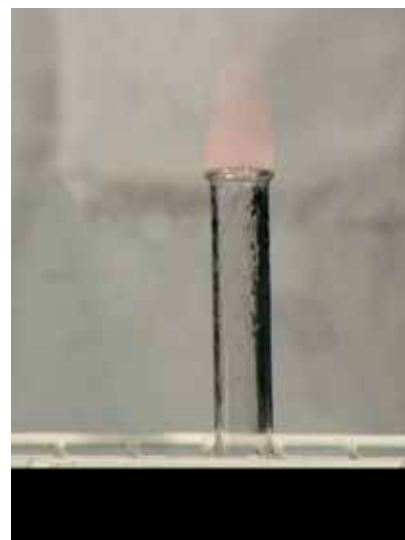
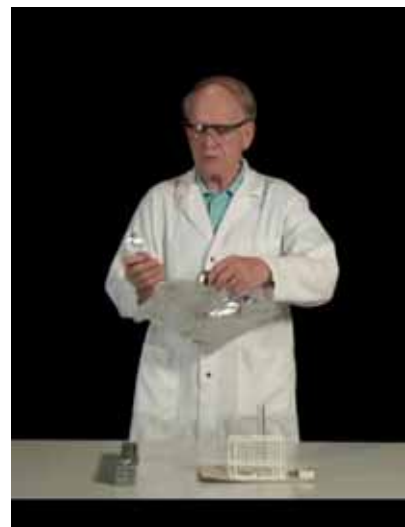


Figura 3. a) Autor retallant paper d'alumini; b) flama causada per la combustió de l'hidrogen produït en la reacció entre l'alumini i la sosa càustica.

Orientacions per al professorat

Respecte a l'apartat 4 d'aquest treball pràctic, tingueu en compte els punts següents:

1) Els alumnes acostumen a tenir dificultats per escriure la darrera equació a causa de l' H_2O que apareix a l'esquerra.

2) Alguns autors discuteixen l'existència de $NaAlO_2$ en fase aquosa i prefereixen escriure la fórmula: $Na[Al(OH)_4]$ (o l'ió $[Al(OH)_4]^-$), que es formaria en aigua segons el següent:
 $NaAlO_2 + 2 H_2O \rightarrow Na[Al(OH)_4]$.

Ions Fe²⁺ i Fe³⁺**Procediment i respostes**

1. Introduïu uns 3 mL d'àcid sulfúric concentrat, H₂SO₄, en un tub d'assaig ben sec i 3 mL d'aigua en un altre tub d'assaig. Mantenint el tub amb aigua amb una inclinació d'uns 45°, buideu lentament l'àcid sobre l'aigua sense agitar-la. Observeu com l'àcid llisca i queda en una capa inferior a l'aigua. Mai no ho heu de fer a l'inrevés (aigua sobre l'àcid). Per què?

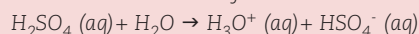
Resposta

Perquè hi ha risc de projeccions d'aigua bullent acidulada.

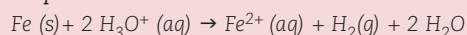
2. Poseu ara el tub en posició vertical. Introduïu lentament el bulb d'un termòmetre just a la zona intermèdia aigua-àcid i bloquegeu la posició del termòmetre amb un dit. Llegiu la temperatura. A continuació, agiteu lateralment el termòmetre, sense desplaçar-lo verticalment. Fins on puja la temperatura? Expliqueu la reacció per la formació d'ions.

Resposta

A l'inici: T ≈ 60 °C. Al final: T = ≈ 104 °C



3. Buideu la meitat de la mescla obtinguda en un tub d'assaig amb 3 mL d'aigua. Llenceu la resta. Afegiu-hi una mica de llana d'acer enrotllada en forma de feix (no en forma de bola). Es desprèn gas hidrogen, H₂, que es pot inflamar. Es formen ions Fe²⁺ en solució. Escriviu l'equació de la reacció. Quin compost que conté ferro s'obtindria en evaporar la solució?

Resposta

Després d'evaporar: FeSO₄

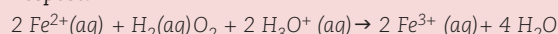
4. En acabar la reacció, queda un residu negre de carboni, C. D'on ve? Per què no ha reaccionat amb l'àcid? Poseu un embut en un altre tub d'assaig i filtreu-ho. Repartiu el líquid filtrat en quatre parts iguals en quatre tubs d'assaig: A, B, C i D.

Resposta

L'acer és ferro que conté aprox. 1 % de C.

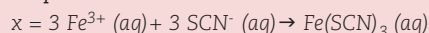
El carboni és un no-metall i els no-metalls no reaccionen amb els àcids.

5. Afegiu una mica d'aigua oxigenada, H₂O₂, concentrada al 3 % als tubs C i D. Es formen l'ió Fe³⁺ i aigua. Escriviu l'equació redox que descriu aquesta reacció. Quin compost que conté ferro s'obtindria en evaporar la solució?

Resposta

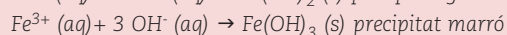
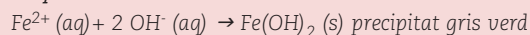
Després d'evaporar: Fe₂(SO₄)₃

6. Afegiu uns granets de tiocianat de potassi, KSCN, als tubs B i D i agiteu-ho. En un d'ells es forma un color vermell intens, a causa del compost Fe(SCN)_x, on x és desconegut. Per aquest motiu, observeu que KSCN forma amb aigua els ions K⁺ i SCN⁻. Escriviu l'estructura electrònica de l'ió SCN⁻ amb els dobles enllaços.

Resposta

Estructura de l'ió: [S = C = N]⁻. Noteu l'analogia electrònica amb CO₂ quan és [O=C=O].

7. Afegiu unes gotes de NaOH 2 M als tubs A i C i agiteu-los. No s'observa res. Acabeu d'omplir ara completament els tubs A i C amb més solució NaOH 2M. Es formen dos precipitats de colors diferents. Quines són les equacions? No us preocupeu si hi ha una mica d'efervescència, causada per la descomposició de H₂O₂ en H₂O i O₂. Per què les primeres gotes de NaOH no han format cap precipitat visible?

Resposta

Al principi, el NaOH neutralitza l'excés d'àcid.

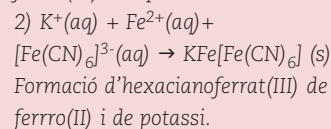
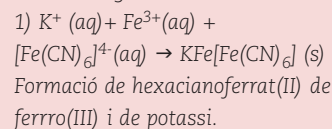
Química i fotoquímica del blau de Prússia**a) Química del blau de Prússia**

1. Introduïu uns 3 mL d'aigua en sis tubs d'assaig: A, B, C, D, E i F. Afegiu una punta d'espàtula de K₃Fe(CN)₆ al tub A, i la mateixa quantitat, però de K₄Fe(CN)₆, al tub B; igualment, però de FeSO₄, als tubs C i D, i el mateix, però de FeCl₃, als tubs E i F. Agiteu-ho per dissoldre-ho. Indiqueu els noms i els colors dels ions presents a cada solució.

Els alumnes han de trobar que l'ió Fe(CN)₆⁴⁻ conté ferro(II) complexat amb sis ions CN⁻ i que Fe(CN)₆³⁻ conté ferro(III).

2. Buideu la meitat del tub A dins del tub C i l'altra meitat dins del tub E. Després, buideu la meitat del tub B dins del tub D i l'altra meitat dins del tub F. En dues d'aquestes mescles s'obté un precipitat de color blau fosc, anomenat blau de Prússia, KFe[Fe(CN)₆], de nom «hexacianoferrat(?) de ferro(?) i de potassi». Poseu els valors correctes (II o III) en els parèntesis on ara hi ha un interrogant. Escriviu les dues equacions iòniques de formació. Hi ha diverses anomalies a la fórmula i a la reacció de formació del blau de Prússia. Quines són?

Aquí, els alumnes haurien d'escrivir el següent:



b) Una reacció fotoquímica amb blau de Prússia

3. Buideu i renteu un dels tubs d'assaig de blau de Prússia. A continuació, dissolgueu una punta d'espàtula d'àcid oxàlic, $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$, en 3 mL d'aigua. Es forma l'ió oxalat, $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$.

4. Prepareu dos o tres objectes plans que serviran per a la prova (una clau, per exemple). Poseu un paper de filtre rodó sobre una placa de vidre i el conjunt sobre un full de paper de diari. Llegiu el paràgraf 5 sencer abans de continuar amb les manipulacions.

5. Busqueu una sala propera, a les fosques. Afegiu, a les fosques, la solució marró que conté els ions Fe^{3+} i $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ a la solució d'àcid oxàlic. Els passos següents s'han de fer a la pica d'aigua: amareu el paper de filtre damunt del vidre amb aquesta solució. A continuació, sempre treballant a les fosques, poseu els tres objectes plans sobre el paper amarat. Porteu el conjunt al sol, amb el diari com a protecció. No moveu els objectes damunt el paper de filtre.

6. El paper exposat al sol es torna blau a causa de la reacció següent catalitzada per la llum: $2 \text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + \text{C}_2\text{O}_4^{2-}(\text{aq}) \rightarrow 2 \text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{CO}_2(\text{g})$, i es forma blau de Prússia a partir dels ions Fe^{2+} . Quina és l'equació?

7. Quan el color blau sigui intens, retireu el conjunt de l'exposició al sol i esbaldui el conjunt amb força aigua després d'haver retirat els objectes plans. Les substàncies solubles s'eliminen i el blau de Prússia queda fixat entre les fibres del paper. S'obté una imatge en negatiu dels objectes col·locats sobre el paper. Eixugueu el paper de filtre amb els fulls de diari i adjunteu la mostra al vostre informe de laboratori.

Observacions per al professorat (a)

Anomalies que s'han de trobar:

- 1) El precipitat té dos àtoms de ferro amb dos estats d'oxidació diferents.
- 2) Un dels àtoms de ferro forma part d'un catió i l'altre, d'un anió.
- 3) El mateix producte final pot tenir dos noms diferents.
- 4) Un precipitat conté un àtom de potassi, la qual cosa, en principi, no es produeix mai: els compostos de potassi són tots solubles en aigua.

Orientacions i informacions complementàries per al professorat (b)

- 1) S'ha d'ajudar els alumnes, ja que acostumen a tenir dificultats amb aquestes respostes.
- 2) Durant molt de temps, es pensava erròniament que el blau de Prússia estava format per hexacianoferrat de ferro, sense potassi (Ware, 2008). Se l'ha utilitzat com a bescanviador d'ions per fixar l'ió Cs-137 a Txernòbil.

3) Comentaris sobre la raresa del color:

- És sorprenent la presència d'un color blau al complex del blau de Prússia, ja que els compostos de ferro mai no són blaus.
- És sorprenent també la presència de dos àtoms de ferro amb dos estats d'oxidació diferents, sense que se sàpiga quin dels dos està dins i quin està fora del complex. Aquesta particularitat és la que origina la intensitat del color. Tots els altres compostos amb aquesta particularitat tenen colors intensos: la magnetita, Fe_3O_4 , té un color marró quasi negre ($\sim \text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$); el mini, Pb_3O_4 , és un pigment de color vermell fort ($\sim \text{PbO}_2 + 2 \text{PbO}$).
- 4) Un equip francoamericà (Zhang et al., 2010) ha aconseguit sintetitzar un complex que conté una mescla equimolecular de cobalt i ferro, tots dos complexats per grups CN, i en el qual 4 Co i 4 Fe estan situats als vèrtex d'un cub. Aquesta substància té una

proprietat molt estranya. La varietat Fe(III)-Co(II) és vermella, magnètica i estable a altes temperatures, mentre que la varietat Fe(II)-Co(III) és de color verd, diamagnètica i estable a baixes temperatures. A més, quan s'irradia amb llum blanca la varietat verda a baixa temperatura, es torna vermella i magnètica, com si l'haguessin escalfat.

Aquest compost respon perfectament a la funció d'emmagatzemar dels components dels discs durs, entre dos estats magnètics i òptics que es poden anomenar 0 i 1. S'obren així noves perspectives en la miniaturització dels ordinadors del futur.

Referències

- WARE, M. (2008). «Prussian blue: Artists' pigment and chemists' sponge». *J. Chem. Ed.*, 85(5): 612.
- ZHANG, Y. [et al.] (2010). «Reversible thermally and photoinduced electron transfer in a cyanobridged Fe_2Co_2 square complex». *Angew. Chem. Int. Ed.*, 49: 3572.

Nota: traducció al català i adaptació de J. Corominas i M. Tortosa.

**Maurice Cosandey**

és el vicepresident de l'Associació Suïssa de Professors de Química. També és el redactor d'una revista local de química per a professorat. És l'impulsor de la participació de Suïssa a les Olimpíades Internacionals de Química. Va ser professor de química en un institut de Suïssa (*gymnasium*) amb estudiants de disset i divuit anys. És especialista en demostracions de química a Suïssa i a l'estranger. Ha fet quatre DVD amb demostracions de química que han tingut un gran èxit a Suïssa.
A. e.: maurice.cosandey@bluewin.ch