

Atramenty sympatyczne

Dr Piotr Seliger

Uniwersytet Łódzki
Katedra Chemii Nieorganicznej i Analitycznej

Pytania

1. Co to jest steganografia?
2. W którym roku agencja CIA odtajniła tajne materiały z I wojny światowej dotyczące atramentów sympatycznych?
3. Jakimi sposobami możemy wywołać atrament sympatyczny wykonany z cytryny?

Wprowadzenie

Steganografia to jedna z gałęzi wiedzy zajmująca się ukrywaniem wiadomości, zdjęcia lub pliku w nośniku. Nośnikiem może być kartka, zdjęcie, czy jakiś plik multimedialny (film, zdjęcie na nośniku, strona html itp).

Istotny jest fakt, iż samo prowadzenie komunikacji(ukrywanie wiadomości) jest tajne.

Słowo steganografia pochodzi z języka greckiego i oznacza „ukryte pisanie”.

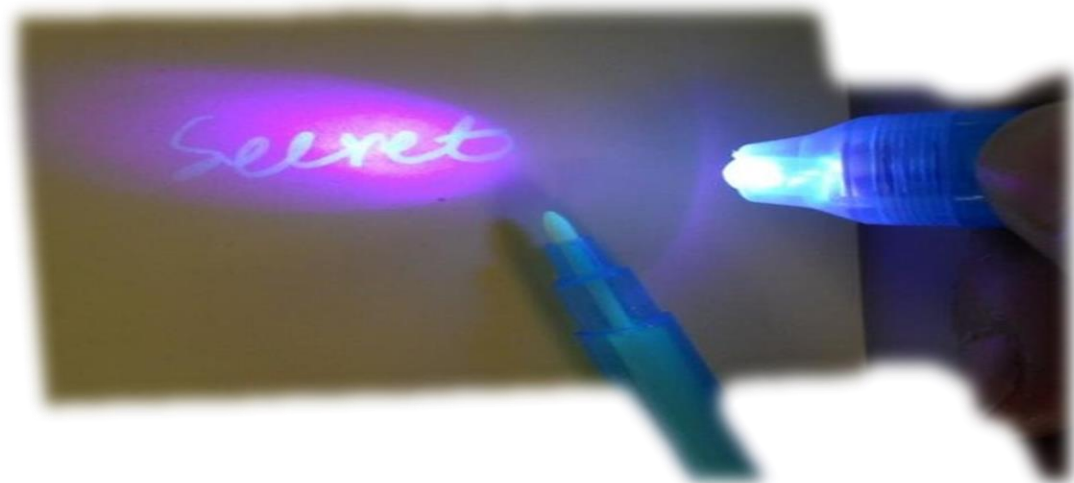
Wprowadzenie

Właściwość	Steganografia	Kryptografia
Ukrycie wiadomości	Tak	Nie
Użycie klucza	Tak	Tak
Ukrycie faktu komunikacji	Tak	Nie
Dodatkowy nośnik	Tak	Nie
Ilość przesyłanych informacji	Większa od ilości wiadomości	Porównywalna do wiadomości

Wprowadzenie

Atramentami sympatycznymi są substancje chemiczne, które są jedną z form technik steganograficznych i umożliwiają tajne przekazywanie informacji. Wiadomość zapisana takim tuszem po wyschnięciu jest niewidoczna dla ludzkiego oka.

Aby odczytać ukrytą treść należy ją wywołać, przez podgrzewanie, użycie odpowiedniego środka chemicznego, lub oglądać w świetle ultrafioletowym.



Skąd nazwa atrament sympatyczny?

Greckie *sympátheia* - 'współodczuwanie' („Słownik języka polskiego”, red. Witold Doroszewski).

1685 – 1766 Jean Hellot (francuski chemik) opisał atramenty, zwłaszcza te zawierające wiele substancji, jako współpracujące ze sobą na zasadzie „sympatii”. Termin ten szybko doprowadził do tego, że atrament sympatyczny stał się synonimem niewidzialnego atramentu.

Atrament sympatyczny Hellota - sole kobaltu wykrywane przez podgrzanie

Słowo to zostało po raz pierwszy odnotowane w latach 1715–25 w Słowniku Collinsa

Historia atramentów sympatycznych

Jednym z pierwszych pisarzy, którzy wspominają o niewidzialnym tuszu, jest Eneasz Tacticus z IV wieku przed naszą erą.

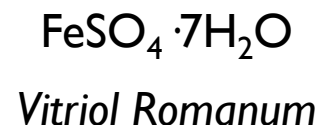
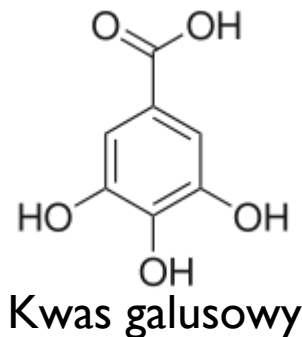
Wspomina o tym, omawiając, jak przetrwać w oblężeniu, ale nie wskazuje, jakiego rodzaju atramentu należy użyć.

Historia atramentów sympatycznych

Chyba pierwszym pisarzem który opisał niewidzialny atrament w roku 250 p.n.e. był Filon z Bizancjum. Zastosował on pokruszone orzechy galasowe rozpuszczone w wodzie do napisania tajnej wiadomości wywoływaczem zaś był vitriol.



Autorstwo Sanja565658 - Praca własna, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=7761051>



Historia atramentów sympatycznych



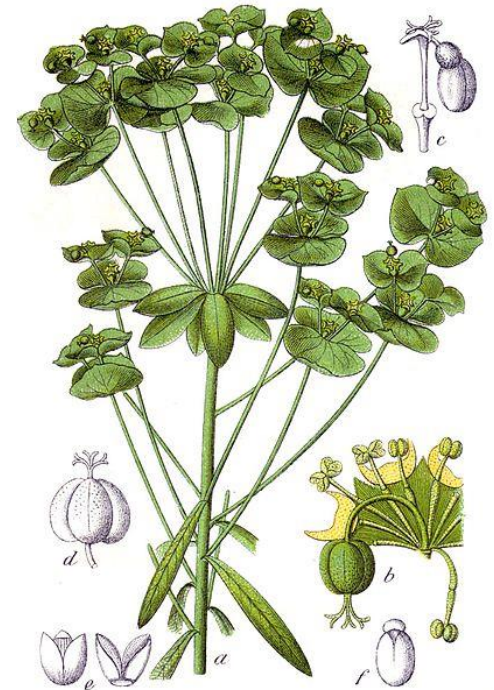
Owidiusz (43 p.n.e- 17/18 n.e)
odwołuje się do stosowania
niewidzialnego atramentu w swojej
Ars Amatoria

Zalecił kochankom pisanie swoich tajnych listów
mlekiem, które można następnie ujawnić i
przeczytać, posypując list sadzą.



Historia atramentów sympatycznych

Pliniusz Starszy w I wieku naszej ery, wspominał w swojej „Historii Naturalnej” o użyciu mleka z rośliny tithymalus (wilczomlecz) jako niewidzialnego atramentu. Tu też wywoływaczem było ciepło.



Historia atramentów sympatycznych



Giovanni Battista della Porta, włoski uczyony, wynalazca, lekarz i literat, opracował formułę niewidzialnego atramentu, który opisał w 1580 roku. Posługiwał się on "nalewką z galasówek", a jako odczynnik wywołujący stosował siarczan żelazawy. Przepis Porty był wielokrotnie cytowany w różnych pismach.

Do niego też należy przepis na atrament, który składał się z uncji ałunu i kufła octu. Po namalowaniu na skorupce jajka na twardo przesączało się i przenosiło wiadomość na białko jaja. Pismo było widoczne dopiero po obraniu jajka.



Historia atramentów sympatycznych



<https://yajifun.tumblr.com/post/22963545026/toad-magic-with-disappearing-ink-unknown>

Drzeworyt z epoki Edo (1603–1867) w Japonii sprzedawano je na festiwalach; nabywca podgrzewał kartę, aby pokazać ukryty obraz (metoda nazywana po japońsku aburidashi). Ten wydruk jest prawdopodobnie zainspirowany legendą Jiraiyi, samuraja, który potrafił magicznie przekształcić się w gigantyczną ropuchę

Atramenty sympatyczne w rewolucji amerykańskiej

Brytyjczycy używali dwóch różnych rodzajów niewidzialnego atramentu. Pierwsza była widoczna po wystawieniu na działanie ciepła, a druga była widoczna po wystawieniu na działanie kwasu.

F (flame)

A (acid)



John André (1751-1780)

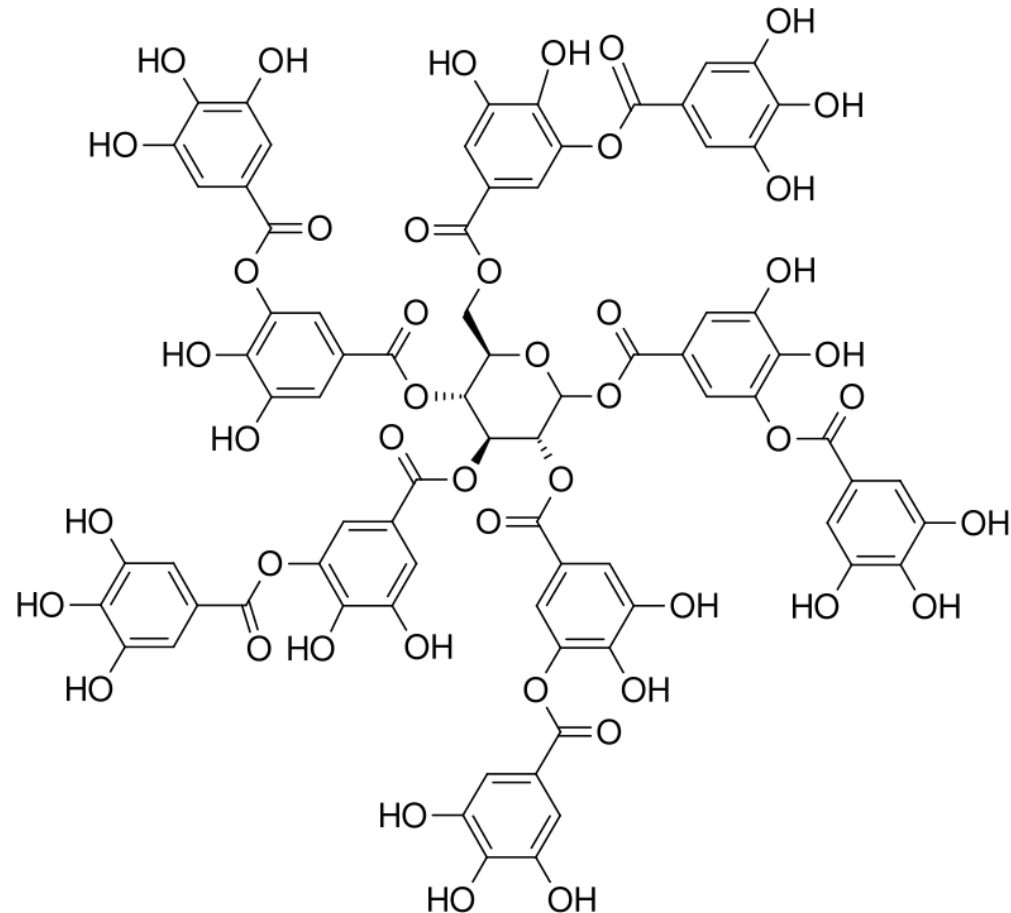


George Washington
(1732-1799)

George Washington posunął się o krok dalej w używaniu niewidzialnego atramentu. Zlecił znalezienie takiego atramentu, którego nie można ujawnić za pomocą ciepła. Ponadto zachęcał on swoich agentów do pisania swoich niewidzialnych wiadomości w pustych przestrzeniach zwykłych książek, aby uczynić je mniej podejrzanymi.

Atramenty sympatyczne w rewolucji amerykańskiej

James Jay, lekarz i brat amerykańskiego kongresmena Johna Jaya, stworzył niewidzialny system atramentu, który wykorzystywał dwie substancje chemiczne. Pierwsza substancja chemiczna została użyta do napisania wiadomości, (była to tanina), a drugą był siarczan żelaza który ujawniał wiadomość.



I wojna światowa

Niemcy – wyprzedzali znacznie przeciwników w rozwoju atramentów sympatycznych początkowo tworzyli je ze środków przeciwbólowych, przeciwgorączkowych czy przeczyszczających.

Kolejne atramenty oparte były na FeSO_4 , CuSO_4 czy solach kobaltu – wywoływano je Na_2CO_3 , oparami amoniaku czy $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$

Cały czas trwała jednak walka technologiczna polegająca na znalezieniu jednego środka którym można byłoby wywołać używane przez przeciwników atramenty sympatyczne.

I wojna światowa

Alianci znaleźli rozwiązanie, gdy odkryli, że opary jodu zabarwiają wszystkie niewidoczne atramenty na brązowo.

Ale Niemcy wymyślili wtedy prosty środek zaradczy; po wpisaniu tajnej wiadomości zwilżali cały papier trzymając go nad parą wodną, zmieniając w ten sposób wszystkie włókna papieru.



Matias Molnar – Laboratorio Quimica Inorganica II – UBA, Argentina, CC BY-SA 3.0

II wojna światowa

Kontynuowany wyścig zbrojeń, poszukiwano idealnego atramentu który:

- byłby bezwonny
- można go było opracować przy użyciu jak najmniejszej liczby odczynników
- Nie można go było wykryć przez podgrzewanie, za pomocą jodu czy w świetle UV

Niemcom udało się to - formułując tusz, który wymagał trzech aplikacji odczynnika w odstępie trzech godzin.

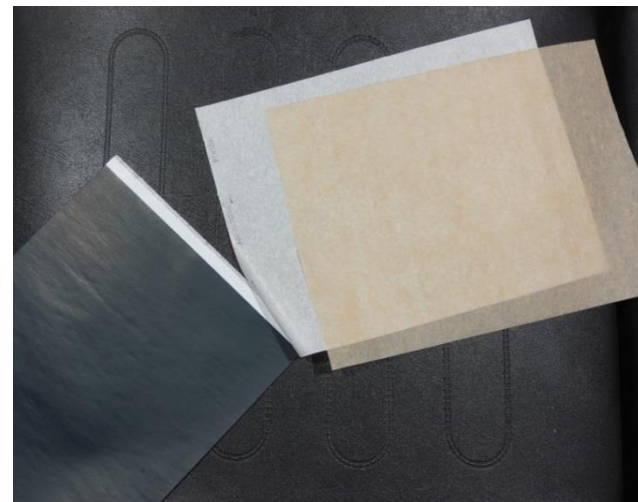
II wojna światowa

Alianci i Niemcy próbowali też przechytrzyć się nawzajem, gdy pisali swoje wiadomości. Wiedząc, że same metody ukrywania pisma zostały dokładnie zbadane, pisali na odwrocie koperty, przecierali atramentem określone słowa i frazy w gazecie czy zapisywali wiadomości na chusteczkach.

<https://content.artofmanliness.com/uploads/2011/07/hand1.jpg>

Okres zimnej wojny

W latach pięćdziesiątych radzieckie KGB i wschodniemiecka Stasi opracowały inną metodę pisma transfer na sucho.



Zamiast bezpośrednio nakładać atrament na papier, między dwa arkusze zwykłego papieru do pisania umieszczano impregnowany chemicznie arkusz papieru. Tajna wiadomość została zapisana na wierzchnim arkuszu i przeniesiona przez substancje chemiczne ze środkowego arkusza na dolną.

Historia

Duża część wspomnianych do tej pory atramentów była znana już pod koniec I wojny światowej.

- W 1999 roku CIA z powodzeniem zażądała, aby dokumenty dotyczące atramentów sympatycznych z I wojny światowej pozostały zwolnione z obowiązkowego odtajnienia.
- Dokumenty z I wojny światowej były utajnione aż do roku 2011!

Oryginały dokumentów są przechowywane w National Archives, a ich kopie są obecnie dostępne na stronie internetowej CIA oraz pod adresem <http://www.foia.cia.gov/>.

Approved For Release 2011/08/03 : CIA-RDP11X00001R000100010005-5

[See Paragraph 4, Instructions of October 31, 1953]

ASST DIRECTOR O.N.I.

A

SUBJECT German Secret Ink. Formulas used in preparation of. Source- N.G.

1913 JUL 12 PM 3 54

From H. No. 433 Date June 14, 1918

Replying to O. N. I. No. Date 1918

The following is a copy of the formulas used preparation of German secret ink.

I Comprime de Pyramiden d 0, Igr
ou (or) d 2 I/2 gr.

I Comprime ou de poudre d'aspirine d 0 I gr.
ou (or) d 2 I/2 gr.

Le tout doit être mélangé avec 400 cms d'eau pure.

Pour faire apparaître l'encre invisible.

Ist.
Alcool légèrement camphré 22 gr.
Eau distillée 50 gr.
Nitrate de potasso 0 gr. 50
Acide acétique 27 gr.
Tetrachlorure de carbure 20 gr.

Doit être bien mélangé et le faire appliquer dessus avec du coton mouille.

inding margin.

Właściwości idealnego atramentu sympatycznego

1. Dobrze rozpuszczalny w wodzie.
2. Nielotny- pozbawiony wyraźnego zapachu
3. Nie pozostawiający widocznych śladów na papierze
4. Niewidoczny w świetle widzialnym i ultrafioletowym
5. Nie zmieniający koloru ani struktury papieru
6. Nie reagujący z jodem i innymi z najczęściej stosowanych wywoływaczy
7. Nie dający się wywołać pod wpływem ciepła
8. Łatwy do uzyskania i mający co najmniej jedno, nie budzące podejrzeń zastosowanie
9. Nie będący związkiem kilku substancji, dla zmniejszenia ryzyka przypadkowego wywołania

Atramenty pojawiające się przy podgrzaniu

Są to najczęściej związki organiczne, które ulegają utlenieniu i ciemnieją przy podgrzaniu. Taki atrament można wywołać przez przeprosowanie arkusza żelazkiem, podgrzanie na grzejniku lub nad płomieniem palnika.

- sok cytrynowy, jabłkowy, pomarańczowy czy sok z cebuli
- Roztwory miodu, słodkie napoje
- Azotan(V) potasu, KNO_3
- Mleko
- Płyny ustrojowe (surowica krwi, męskie nasienie)
- Woda z mydłem
- Wino, ocet
- Chlorek kobaltu



Pokazy część I atramenty wykonane z:

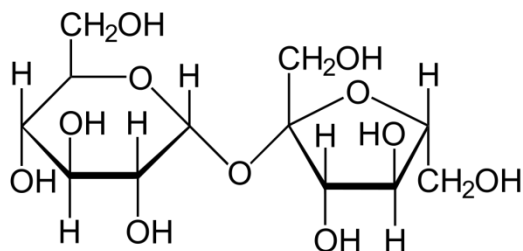
- Mleka
- Soku z cytryny
- Soli kobaltu
- Saletry potasowa

Pokazy przygotowane i wykonane przez
Studenckie Koło Naukowe Chemików Orbital UŁ
w składzie:

Marta Bartoszewicz, Natasza Chrostowska,
Martyna Nawrot, Natalia Popielarczyk



Atramenty pojawiające się przy podgrzaniu

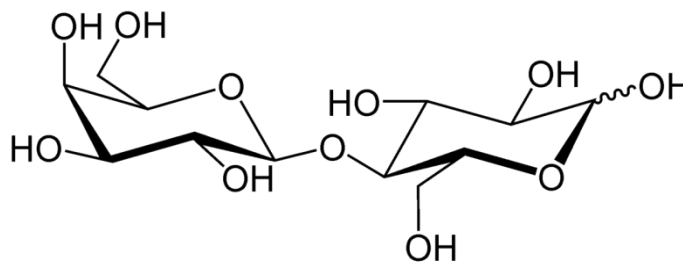


Temp.



Karmelany ($C_{24}H_{36}O_{18}$)
Karmeleny ($C_{36}H_{50}O_{25}$)
Karmeliny ($C_{125}H_{188}O_{80}$)

Cząsteczka sacharozy



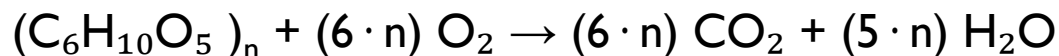
Cząsteczka laktozy

Atramenty pojawiające się przy podgrzaniu

- Wodny roztwór chlorku kobaltu(II), CoCl_2 (ok 1-2%)

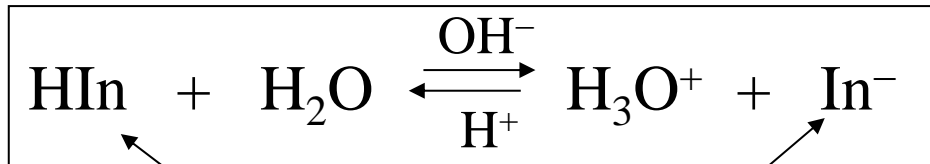


- KNO_3 (saletra potasowa) to silny utleniacz



Celuloza

Atramenty oparte na wskaźnikach pH



Co najmniej jedna z tych form
musi być barwna

$$K_{\text{HIn}} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{In}^-]}{[\text{HIn}]}$$



$$[\text{H}_3\text{O}^+] = K_{\text{HIn}} \frac{[\text{HIn}]}{[\text{In}^-]}$$



$$\text{pH} = \text{p}K_{\text{HIn}} - \log \frac{[\text{HIn}]}{[\text{In}^-]}$$

Atramenty oparte na wskaźnikach pH

kiedy $[HIn] = [In^-]$ \longrightarrow $pH_{\frac{1}{2}} = pK_{HIn}$ \longleftarrow wykładnik wskaźnika

Zmianę koloru
zauważamy
przy 10-krotnej
zmianie stężenia
indykatora

$$\frac{[HIn]}{[In^-]} = 10 \quad \longrightarrow \quad pH = pK_{HIn} - 1$$

$$\frac{[HIn]}{[In^-]} = 0.1 \quad \longrightarrow \quad pH = pK_{HIn} + 1$$

Wykładnik wskaźnika jest jeden ale zawsze jest podana zmiana barwy (czułość oka)

$$(pK_{HIn} - 1) pH < pK_{HIn} < (pK_{HIn} + 1) pH$$

Atramenty oparte na wskaźnikach pH

Wskaźnik	Barwa poniżej	Zakres pH	Barwa powyżej
fiolet metylowy	żółta	0.15-0.5	niebieskozielona
błękit tymolowy	czerwona	1.2-2.8	żółta
fiolet metylowy	niebieskozielona	1.8-3.2	fioletowa
oranż metylowy	czerwona	3.1-4.4	żółta
czerwień metylowa	czerwona	4.2-6.3	żółta
lakmus	czerwona	5.0-8.0	niebieska
błękit bromotymolowy	żółta	6.0-7.6	niebieska
błękit tymolowy	żółta	8.0-9.6	niebieska
fenoloftaleina	bezbarwna	8.3-10.0	malinowa
tymoloftaleina	bezbarwna	9.3-10.5	niebieska
żółcień alizarynowa	żółta	10.0-12.1	czerwona

Atramenty oparte na wskaźnikach pH

Sok z czerwonej kapusty



Różnorodność barw soku z czerwonej kapusty w zależności od pH*

*„Jeszcze raz o soku z kapusty, czyli kolory w chemii, biologii i na wychowaniu plastycznym”
Grzegorz Karwasz, Mariusz Gagoś, FOTON 120, 2013

Atramenty oparte na wskaźnikach pH

- Fenoloftaleina wywoływana roztworami zasad
- Kwas fosforowy(V) wywoływany roztworem oranżu metylowego
- Amoniak wywoływany sokiem z czerwonej kapusty
- Kwas octowy wywoływany sokiem z czerwonej kapusty

Pokazy część II atramenty wykonane z:

- Fenoloftaleiny
- Roztworów kwasów
- Mieszaniny tymoloftaleiny i NaOH

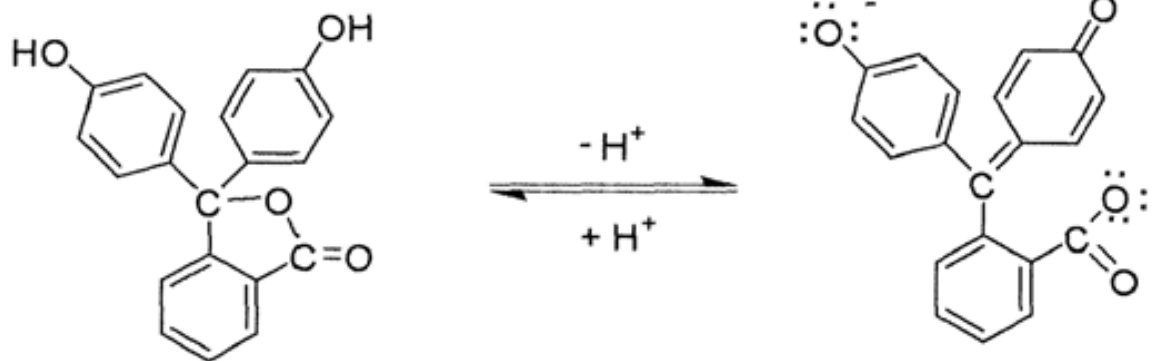
Pokazy przygotowane i wykonane przez
Studenckie Koło Naukowe Chemików Orbital UŁ
w składzie:

Marta Bartoszewicz, Natasza Chrostowska,
Martyna Nawrot, Natalia Popielarczyk



Atramenty oparte na wskaźnikach pH

Fenoloftaleina

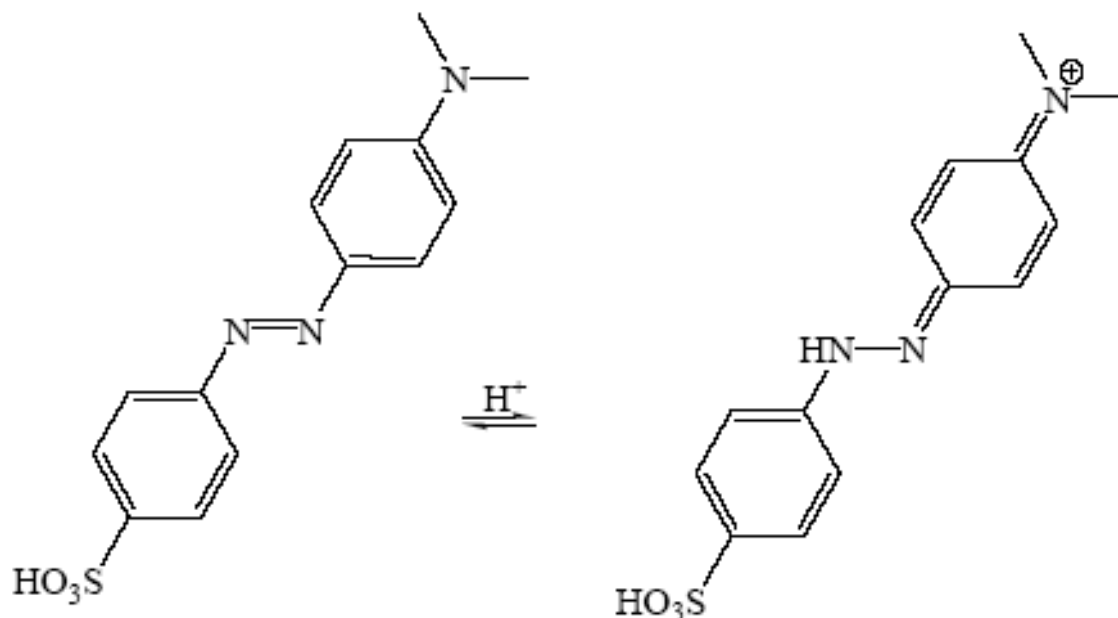


Forma protonowana
(kwasowa)
BEZBARWNA

Forma deprotonowana
(zasadowa)
MALINOWA

Atramenty oparte na wskaźnikach pH

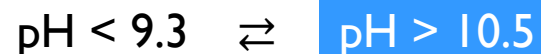
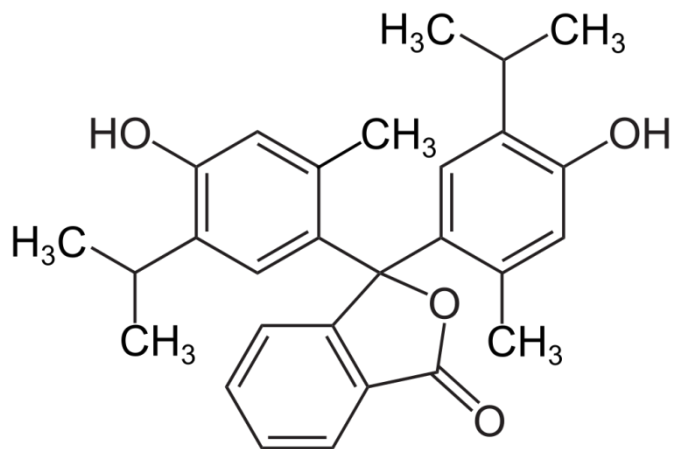
Oranż metylowy



forma żółta

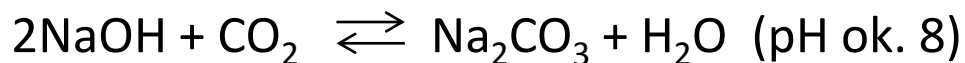
forma czerwona

Tymoloftaleina



Atrament przygotowujemy poprzez zmieszanie alkoholowego roztworu tymoloftaleiny z niewielką ilością NaOH lub KOH

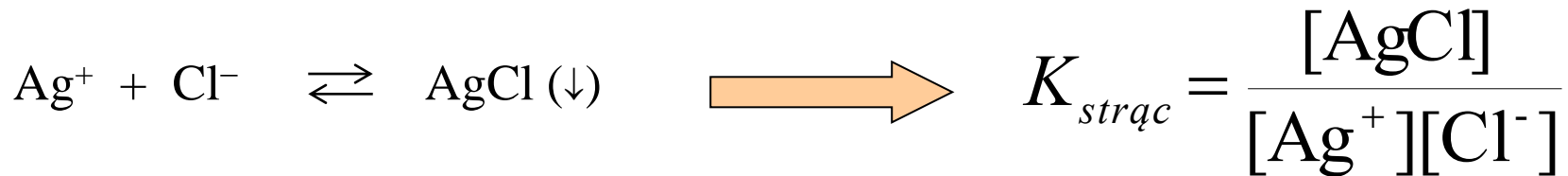
Znikanie atramentu związane jest z reakcją:



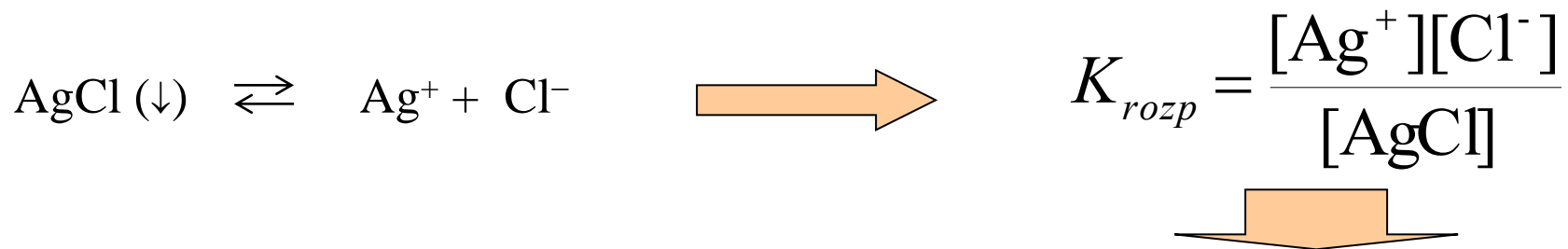
Jako wywoływacz stosujemy tutaj mocną zasadę

Atramenty oparte na reakcjach strącania soli

Charakterystyczną cechą reakcji przebiegających w roztworach jest tworzenie się związków trudno rozpuszczalnych



W przypadku osadów trudno rozpuszczalnych szczególne znaczenie praktyczne ma stała reakcji rozpuszczania tych osadów:



K_{so} - iloczyn rozpuszczalności

$$K_{so} = [\text{Ag}^+][\text{Cl}^-]$$

Atramenty oparte na reakcjach strącania soli

Po przekroczeniu iloczynu rozpuszczalności osad zaczyna nam się wytrącać.

$$K_{so} = [M e^+][A^-]$$

Aby zatem znaleźć atrament oparty na tej metodzie należy:

- Znaleźć kolorową sól trudno rozpuszczalną,
- Znaleźć sole dobrze rozpuszczalne które po zmieszaniu tworzą tę sól (przy czym jedna z nich powinna być bezbarwna)
- Tak dobrać stężenia aby przekroczyć K_{so}

Atramenty oparte na reakcjach strącania soli

Tabela rozpuszczalności wybranych soli i wodorotlenków

	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Ba ²⁺	Cr ³⁺	Mn ²⁺	Fe ²⁺	Fe ³⁺	Co ²⁺	Ni ²⁺	Cu ²⁺	Ag ⁺	Au ³⁺	Zn ²⁺	Cd ²⁺	Hg ²⁺	Al ³⁺	Sn ²⁺	Pb ²⁺	Bi ³⁺
OH ⁻	R	R	R	↓	↓	R	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
F ⁻	R	R	R	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	R	↓	↓	R	R	↓	↓	R	↓	R	↓	R
Cl ⁻	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	↓	R	R	R	R	R	R	↓	R
Br ⁻	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	↓	R	R	R	↓	R	R	↓	R
I ⁻	R	R	R	R	R	R	R	R	*	R	R	*	↓	↓	R	R	↓	R	↓	↓	↓	↓
S ²⁻	R	R	R	↓	↓	R	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
SO ₃ ²⁻	R	R	R	R	↓	↓	R	↓	↓	*	↓	↓	*	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
SO ₄ ²⁻	R	R	R	R	↓	↓	R	R	R	R	R	R	R	↓	R	R	R	R	R	R	↓	R
NO ₂ ⁻	R	R	R	R	R	R	R	R	R	↓	R	R	R	↓	*	R	R	R	R	↓	R	↓
NO ₃ ⁻	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
PO ₄ ³⁻	R	R	R	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
CO ₃ ²⁻	R	R	R	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
SiO ₃ ²⁻	R	R	R	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	*	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
MnO ₄ ⁻	R	R	R	R	R	R	R	*	*	R	R	R	R	R	?	R	R	?	R	*	R	R
CrO ₄ ²⁻	R	R	R	R	↓	↓	↓	↓	*	R	↓	↓	R	↓	?	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
octan	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	↓	R	R	R	R	R	R	R	R

↓ substancja trudno rozpuszczalna

R substancja dobrze rozpuszczalna

* zachodzą skomplikowane reakcje

Pokazy część III atramenty wykonane z:

- Chlorku sodu
- Heksacyjanożelazianu(II)
- Octanu ołowiu

- Soku z cytryny
- Kwasu salicylowego
- Proszku do prania

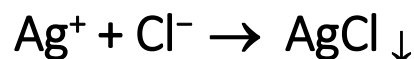
Pokazy przygotowane i wykonane przez
Studenckie Koło Naukowe Chemików Orbital UŁ
w składzie:

Marta Bartoszewicz, Natasza Chrostowska,
Martyna Nawrot, Natalia Popielarczyk

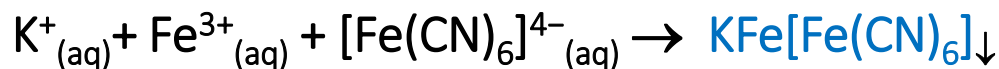
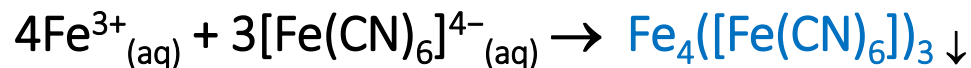


Atramenty oparte na reakcjach strącania soli

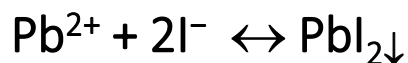
Chlorek sodu NaCl wywoływany roztworem azotanu(V) srebra AgNO_3 , atrament czernieje po wystawieniu na słońce, sam azotan srebra czernieje wolniej.



- Heksacyjanożelazian(II) potasu $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$, wywoływany roztworem chlorku żelaza(III) FeCl_3 . Tworzy się ciemnoniebieski osad tzw. błękitu pruskiego.

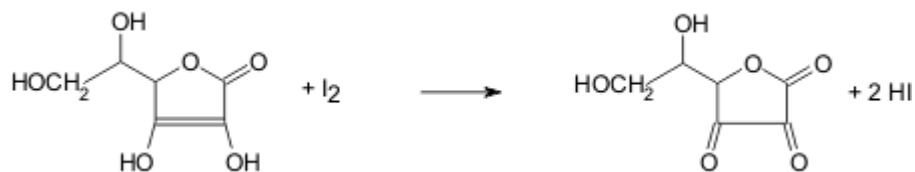


- Octan ołowiu(II) $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb}$, wywoływany jodkiem potasu KI. Napis ujawnia się w postaci żółtych liter utworzonych przez trudno rozpuszczalny osad jodku ołowiu(II)



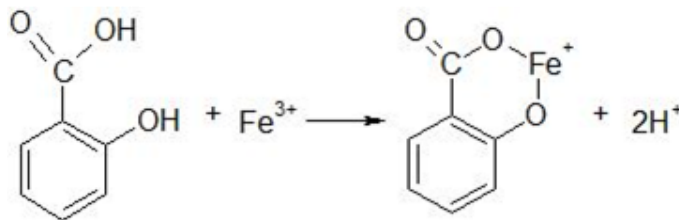
Atramenty oparte na innych reakcjach barwnych

- sok z cytryny wywoływany roztworem jodu- atrament nie zmienia koloru, błękitnieje papier.



Reakcja kwasu askorbinowego z jodem

- Kwas salicylowy, $C_6H_4(OH)COOH$ wywoływany roztworem chlorku żelaza(III), $FeCl_3$ - napis ujawnia się w kolorze fioletowo- niebieskim



Reakcja kwasu salicylowego z jonami żelaza(III)

Atramenty widoczne w świetle UV

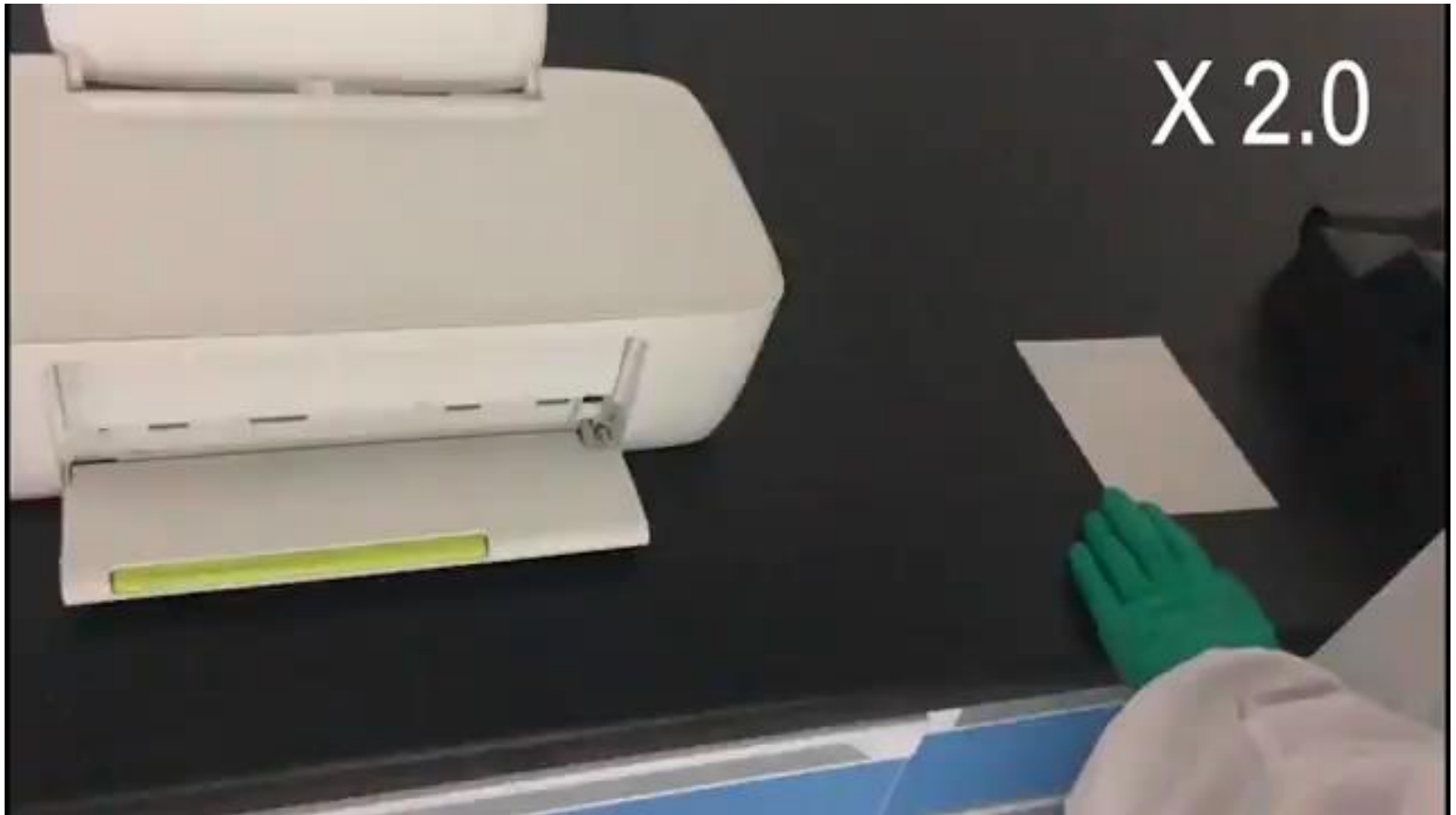
Liczne substancje fluoryzują po naświetleniu ultrafioletem. Fluorescencyjnym atramentom sympatycznym można nadać rozmaite kolory, a niektóre z nich nadają się do użytku na gładkich powierzchniach, np. na szkłe. Na podobnej zasadzie działają proszki do prania z wybielaczem optycznym.

Atramenty innego typu pochłaniają światło ultrafioletowe. Po naświetleniu zapisane miejsca fluoryzują słabiej niż reszta kartki.

Jeszcze inne widoczne są w podczerwieni



Współczesne atramenty sympatyczne



“Dynamic Luminescence Manipulation for Rewritable and Multi-level Security Printing”
by Pengfei She, Yun Ma, Yanyan Qin, Mingjuan Xie, Feiyang Li, Shujuan Liu, Wei Huang and
Qiang Zhao, 25 September 2019, Matter.

„Komputerowy” atrament sympatyczny

A czy wiesz, że ukryte treści można także przekazywać w plikach tekstowych, w artykułach i w forumowych postach?

Jak to zrobić?

Bardzo prosto!

Wystarczy swoją wiadomość napisać w kolorze tła strony albo pliku tekstowego. Na przykład: dla białego tła w edytorze tekstu zaznaczamy kolor czcionki na biało, a w forumowym poście korzystamy ze znaczników HTML:

```
<fontAcolor="#FFFFFF">CwCnawiasiehostrokątnym
```

Zastosowanie

- Markery zawierające atrament fluorescencyjny służące do oznaczania cennych urządzeń domowych na wypadek włamania. Dzięki temu łatwo ustalić właściciela skradzionych rzeczy.
- W pismach urzędowych takim atramentem mogą być drukowane dodatkowe informacje, po które sięga się w razie potrzeby.
- Technika atramentów sympatycznych jest wykorzystywana do tworzenia farb luminescencyjnych, które mają służyć do zapobiegania i powstrzymywania aktów fałszerstwa.
- Jedną z popularnych technik oszustw związanych z hazardem jest użycie niewidocznych atramentów wydrukowanych z tyłu powierzchni kart do gry. Takie ukryte wzory są przezroczyste w świetle widzialnym, a zatem niewidzialne dla ludzkich oczu.

Podsumowanie

- Atramenty sympatyczne są znane od wieków i mają szerokie zastosowanie w technikach opartych na ukrywaniu informacji przed osobami trzecimi.
- W wywoływaniu ukrytych wiadomości kluczową rolę odgrywają procesy chemiczne.
- Niewidoczny tusz znalazł zastosowanie w wielu dziedzinach życia i wciąż jest przedmiotem badań naukowców, którzy starają się zapobiegać fałszerstwu ważnych dokumentów i pieniędzy.

Dodatkowa Literatura

- Macrakis, Kristie (2014). *Prisoners, lovers, & spies : the story of invisible ink from Herodotus to al-Qaeda*. New Haven: Yale University Press.
- John Nagy, *Invisible Ink: Spycraft of the American Revolution* Westholme Publishing 2011
- Dooley, John (2016). *Codes, Ciphers and Spies: Tales of Military Intelligence in World War I*. New York: Copernicus Books.
- HIDING DATA COMMUNICATION USING STEGANOGRAPHY TECHNIQUE Asst.Prof., YMT College of Management, Kharghar, Kirti Kakde
- ThoughtCo. „How to Make Your Own Invisible Ink” Ph.D Anne Marie Helmenstine,
- Michigan State University. "Cold War Invisible Ink Secrets Unlocked." ScienceDaily. ScienceDaily, 8 November 2006. <www.sciencedaily.com/releases/2006/11/061108103815.htm>
- MacRakis, Kristie; Bell, Elizabeth K.; Perry, Dale L.; Sweeder, Ryan D. (2012). "Invisible Ink Revealed: Concept, Context, and Chemical Principles of "Cold War" Writing". *Journal of Chemical Education*. 89 (4): 529–532.
- Krzysztof Orliński: Atramenty sympatyczne (pol.). *Młody Technik*, e-suplement, 2011-09
- Iwona Orlińska: Atramenty sympatyczne w doświadczeniach. *Chemia w Szkole*, nr 5, wrzesień/październik 2013
- Highly fluorescent nitrogen-doped carbon dots with excellent thermal and photo stability applied as invisible ink for loading important information and anti-counterfeiting; Yingbo Liu, Liang Zhou, Yanan Li, Ruiping Deng and Hongjie Zhang, 16 Nov 2016
- Future prospects of luminescent nanomaterial based security inks: from synthesis to anti-counterfeiting applications Pawan Kumar, Satbir Singh and Bipin Kumar Gupta; 23 Jun 2016