

Una proposta didattica per l'introduzione del modello atomico a gusci

ROBERTO SOLDÀ*
ERMANNICO NICCOLI**

Riassunto

Nel presente lavoro viene presa in considerazione la proposta avanzata da Mirone riguardante l'uso didattico di un modello dell'atomo "a gusci" sostitutivo del modello orbitalico. Il modello a gusci didatticamente più praticabile pone al centro dell'attenzione l'energia di ionizzazione. Pertanto si ritiene importante che l'introduzione del nuovo modello sia preceduta da un intervento tendente a fare in modo che lo studente familiarizzi con il concetto di energia di ionizzazione; questo obiettivo viene perseguito attraverso una esercitazione di laboratorio. È altresì importante che l'apprendimento del nuovo modello da parte dello studente venga consolidato attraverso l'elaborazione di tabelle, l'interpretazione di grafici e la compilazione di questionari, operazioni che mettono in rilievo il carattere periodico del modello stesso.

1. Il modello atomico a gusci a partire dall'energia di ionizzazione

Nei testi scolastici di chimica in un recente passato l'energia di ionizzazione, in particolare di prima ionizzazione, veniva citata assieme ad altre grandezze come esempio di proprietà periodica. Nei medesimi testi la struttura dell'atomo veniva illustrata ricorrendo al concetto di orbitale, oltre che ad alcuni principi e regole (di costruzione delle strutture elettroniche, di indeterminazione, di esclusione, di Hund). Ne scaturiva una visione assai complessa, didatticamente quasi impraticabile.

L'impossibilità di entrare nel merito della meccanica quantistica rende arduo l'uso dei corrispondenti modelli matematici e diviene inevitabile il ricorso a un eccesso di metafore e di similitudini cioè a una didattica poco efficiente in quanto troppo approssimativa e soprattutto inefficace perché scarsamente incisiva. Alcuni insegnanti insistono nell'errore perché il modello orbitalico offre l'illusione di operare con rigore logico e completezza di rappresentazione.

Questa situazione è stata denunciata da Mirone in un articolo comparso su questa rivista nel 1987¹, dove si sottolinea che il modello orbitalico avulso dal suo contesto teorico e presentato in maniera puramente descrittiva perde gran parte del suo reale significato. Per inciso si

può osservare che il concetto di orbitale non può nemmeno essere sostituito dal concetto di orbita la quale cosa contraddirebbe il principio di indeterminazione.

Nel suo articolo Mirone in sostituzione del modello orbitalico propone un "modello atomico a gusci". Questa rappresentazione scaturisce direttamente dall'esame della variazione delle energie di progressiva ionizzazione dei vari atomi al crescere del numero atomico.

Per un esame dettagliato della proposta si rimanda naturalmente all'articolo originale, tuttavia come sottolinea lo stesso autore, già dall'esame dello schema riportato in figura 1 ci si rende conto che le energie di progressiva ionizzazione dei vari atomi tendono a raggrupparsi in fasce e quindi, poiché la distanza di un elettrone dal nucleo è tanto minore quanto maggiore è l'energia che lo lega al nucleo stesso, anche gli elettroni si distribuiranno in fasce o gusci.

L'utilità didattica della figura 1 è duplice: mentre la pura e semplice osservazione dello schema fa già intuitivamente intravedere un modello "a gusci", tale modello può essere deduttivamente ricavato ragionando sulla distribuzione dei livelli energetici.

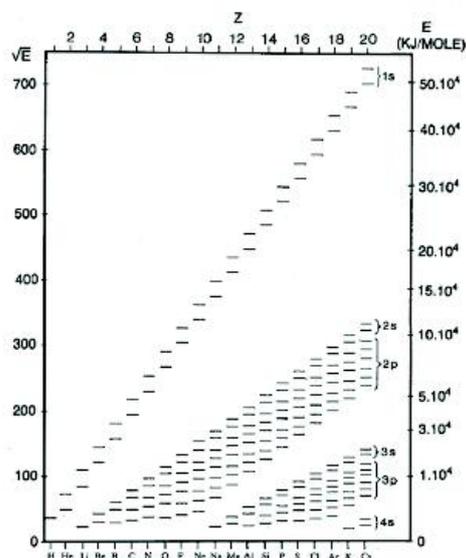


Fig.1 - Energie di progressiva ionizzazione dei primi 20 elementi della tavola periodica. Notare che per ragioni grafiche la scala dell'asse delle ordinate è proporzionale alla radice quadrata dell'energia.

Sotto il profilo della programmazione la conseguenza più immediata di questa impostazione è che **le energie di ionizzazione degli atomi assumono una maggiore rilevanza** rispetto al passato, quando questa grandezza

* roberto.solda@libero.it

** e.niccoli@tiscalinet.it

¹ P.Mirone, CnS - La Chimica nella Scuola, 1987, 9,12.

veniva sommariamente presentata assieme ad altre al solo scopo di illustrarne il carattere periodico.

Ad ogni buon conto vale la pena sottolineare che il modello atomico a gusci come qualsiasi altro modello è per sua natura parziale²; infatti nella sua proposta Mirone fa notare che il modello rappresenta in maniera eccellente la distribuzione radiale degli elettroni mentre per rappresentare la distribuzione angolare, bisogna ricorrere ad un altro modello (VSEPR).

Inoltre nella presentazione del modello a gusci si fa un rapido cenno all'azione schermante esercitata dagli elettroni sul campo elettrico del nucleo, senza peraltro introdurre e utilizzare il concetto di "carica nucleare efficace". La carica nucleare efficace ha carattere periodico: probabilmente l'approfondimento di questo aspetto offrirebbe ulteriori elementi di comprensione del modello a gusci ma amplierebbe l'argomento, appesantendo eccessivamente il lavoro didattico. Molto meglio, come suggerisce Mirone, attenersi al dato sperimentale (fig.1) di per se stesso incontrovertibile.

Un' ultima osservazione riguarda l'introduzione delle notazioni s , p e d che inevitabilmente in classe richiederanno un approfondimento.

Come si può vedere il dimensionamento di un argomento a scopi didattici è sempre difficile e per certi versi delicato, la mediazione che si deve compiere, per adeguare la complessità di un argomento scientifico alle capacità cognitive degli studenti e alla loro preparazione pregressa, richiede da parte degli insegnanti piena padronanza degli argomenti e molta professionalità.

Per tutte queste ragioni riteniamo che l'introduzione dell'energia di ionizzazione e quindi del modello a gusci richieda di essere accompagnata da alcune operazioni; in particolare si deve:

- > verificare con cura che gli alunni siano in possesso dei prerequisiti necessari per accedere ai nuovi concetti;
- > operare con interventi di didattica attiva affinché il concetto di energia di ionizzazione, prima di essere utilizzato come strumento esplicativo, divenga "familiare" all'alunno;
- > consolidare successivamente, sempre con interventi di didattica attiva, l'acquisizione del nuovo modello;
- > fare in modo che l'alunno divenga consapevole della natura del proprio apprendimento ossia passi ad una forma di metacoscienza.

La necessità di acquisire familiarità con i concetti fondamentali è costantemente sottolineata dai pedagogisti ma spesso ignorata dagli insegnanti³.

Il consolidamento del concetto assicura una persistenza nel tempo dell'apprendimento. La metacoscienza aiuta l'alunno a riflettere sulla natura e la qualità del proprio lavoro.

Le attività utili a favorire questi processi sono varie: compiere esercitazioni di laboratorio, compiere ricerche bibliografiche, svolgere calcoli, rappresentare graficamente e analizzare determinate grandezze, esaminare il concetto in contesti diversi, risolvere problemi, discutere in gruppo i risultati raggiunti e così via.

² E. Niccoli, *CnS - La Chimica nella Scuola*, 2003, **25**, 108.

³ Paradossalmente questo modo di procedere è presente nelle attività quotidiane dove per raggiungere un uso esperto di un concetto o di uno strumento non basta che questo venga presentato e descritto dettagliatamente, ma si richiede che l'utente "faccia pratica" ossia che familiarizzi praticando ripetutamente il concetto o lo strumento stesso.

Queste attività costituiscono appunto la cosiddetta didattica attiva.

A causa della limitatezza delle risorse (tempo, strutture, attrezzature, competenze ecc.) l'insegnante si viene spesso a trovare tra l'incudine ed il martello, dove l'incudine è rappresentata dall'efficacia del suo insegnamento (didattica attiva, coinvolgente ma che richiede tempi lunghi) ed il martello dall'efficienza dell'insegnamento stesso (didattica frontale, veloce ma meno coinvolgente)⁴.

2. Un approccio sperimentale all'energia di ionizzazione

L'approccio sperimentale all'energia di ionizzazione dovrebbe precedere l'introduzione del modello a gusci, è circoscritto ad una sola misura e serve esclusivamente a familiarizzare con il concetto di energia di ionizzazione.

L'energia di ionizzazione di un elemento si può determinare bombardandone il vapore con elettroni la cui energia cinetica sia con buona approssimazione nota. Come fare per ottenere un fascio di elettroni di energia cinetica nota? In un tubo di scarica contenente il gas in esame a bassa pressione, si ottiene un fascio di elettroni la cui energia cinetica può essere fatta aumentare incrementando il voltaggio applicato agli elettrodi del tubo.

Per fare ciò si effettua una regolazione non molto diversa da quella che fa variare la brillantezza del nostro televisore, dove per ottenere un'immagine più brillante, cioè elettroni con maggior energia si aumenta il voltaggio applicato al cinescopio: il riferimento al televisore è un espediente sempre utile per ottenere l'attenzione degli allievi.

Si noti che l'energia di ionizzazione e quindi la struttura atomica viene quasi sempre introdotta con lezioni frontali poiché si ritiene che l'introduzione sperimentale richiederebbe una strumentazione particolarmente costosa ed accessibile solo a poche scuole. Perciò è abbastanza importante mostrare agli allievi come sia possibile ottenere informazioni sull'energia di ionizzazione anche con mezzi molto semplici.

A questo scopo si propone la determinazione dell'energia di ionizzazione per mezzo di bombardamento elettronico di un gas inerte quindi monoatomico, la qual cosa può essere realizzata con materiali poco costosi e di facile reperibilità.

In letteratura sono disponibili due esperimenti, entrambi proposti per le scuole medie superiori e il primo anno di università.

Un esperimento di questo tipo è stato proposto dal Nuffield Advanced Science ed è stato testato e divulgato alcuni anni fa da altri autori^{5,6}. Per l'esecuzione di questo esperimento si rimanda alle fonti citate.

L'esperimento che segue viceversa è tratto da alcune note sperimentali del "Physics Apparatus-Philip Harris", redatte a suo tempo in collaborazione con il Nuffield Advanced Science.

In figura 2 è riportato lo schema del circuito utilizzato per il primo esperimento.

Il circuito riportato in figura 2 è realizzabile con materiali poco costosi e può essere facilmente assemblato da parte degli stessi ragazzi, una volta che sia stata illustrata

⁴ E. Niccoli, *CnS - La Chimica nella Scuola*, 2005, **27**, 106.

⁵ R.Cervellati, D. Perugini, *CnS - La chimica nella Scuola*, 1980, **2**, 27.

⁶ R. Cervellati, D. Perugini, *Guida alla didattica della chimica*, Zanichelli, Bologna, 1987.

adeguatamente la funzione dei vari componenti e sia stata fornita la fotocopia dello schema.

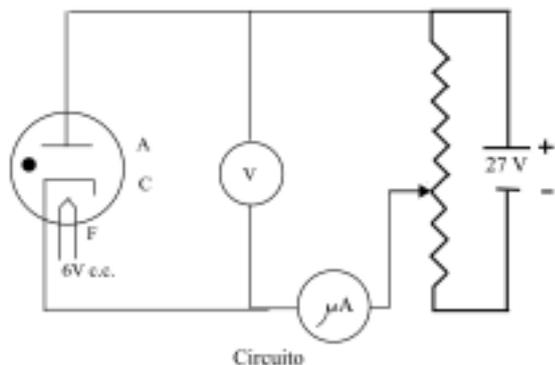


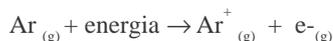
Fig. 2

Esso consente di determinare il potenziale di prima ionizzazione del gas nobile argon⁷ a bassissima pressione ed il principio di funzionamento è accessibile anche ad allievi con elementari conoscenze di fisica.

In questo caso il triodo ad argon viene fatto funzionare come un diodo a gas collegando l'anodo (placca) al polo positivo e il catodo al polo negativo della pila alimentatrice del circuito e lasciando scollegata, cioè inattiva la griglia. Il catodo, riscaldato dal filamento con una tensione costante, emette elettroni per effetto termoelettronico.

Quindi aumentando gradualmente la differenza di potenziale, applicata tra il catodo C e l'anodo A, mediante il potenziometro (si può usare un comunissimo potenziometro a basso costo), si incrementa la velocità e perciò l'energia cinetica degli elettroni emessi dal catodo fino ad un valore sufficiente da poter espellere per urto, l'elettrone meno fortemente legato da ogni atomo di gas colpito.

Il processo di collisione può essere schematizzato come segue :



e, poiché in questo caso, la ionizzazione del gas è accompagnata dall'innescò della scarica a bagliore, si osserva un brusco aumento di corrente segnalato dal microamperometro.

Dalla differenza di potenziale applicata, moltiplicando la differenza di potenziale in V per la carica di una mole di elettroni cioè 96485 C/mol, si può risalire all'energia di prima ionizzazione del gas (in J/mol).

A questo proposito è da notare che la differenza di potenziale di ionizzazione sarà rilevata nel momento in cui nella valvola si nota emissione di luce.

Materiale occorrente

> una valvola thyatron 884, contenente argon a bassissima pressione (di solito in dotazione al laboratorio di fisica

o comunque reperibile presso alcuni negozi di componenti elettronici);

> un portavalvola per la valvola suddetta, con le boccole predisposte per i collegamenti al catodo ed all'anodo;

> un tester digitale, da usare come microamperometro (fondo scala 2000 μA);

> un tester digitale, da usare come voltmetro (fondo scala 30 V);

> un potenziometro a carbone (resistore variabile) a variazione lineare da 4700 Ω, reperibile presso i rivenditori di componenti elettronici "surplus";

> tre pile da 9 V, collegate in serie, per alimentare il circuito;

> un alimentatore-trasformatore per l'alimentazione del filamento a 6V;

> fili elettrici e spinotti per i collegamenti e l'assemblaggio del circuito.

Procedimento

Dopo avere assemblato il circuito come mostrato in figura 2, si ruota lentamente la "manopola" del potenziometro, aumentando gradualmente il voltaggio ed osservando sia il tester usato come voltmetro sia quello usato come microamperometro.

Quando si osserva un brusco incremento di corrente (in prossimità del potenziale di ionizzazione si ha un salto di intensità di corrente da circa 50μA a circa 1500 μA) si interrompe l'esperimento annotando la differenza di potenziale rilevata.

Il potenziale rilevato 17,3 V è comunque lo stesso che si può osservare anche, senza il microamperometro, al momento dell'emissione di luce color lilla e differisce del 10% dal valore 15,75 riportato in letteratura.

3. Energie di prima ionizzazione: elaborazione dei dati

Questa esercitazione comporta l'elaborazione e la discussione di una serie di dati sperimentali, ha lo scopo di consolidare i concetti acquisiti relativi al modello a gusci e viene quindi svolta dopo che tale modello è stato introdotto.

A tale proposito può essere utile che gli studenti svolgano una semplice ricerca bibliografica su testi di chimica di buon livello, che si procurino i valori delle energie di prima ionizzazione, per esempio, dei primi 36 elementi e quindi che costruiscano il grafico corrispondente.

L'analisi del grafico ottenuto, condotta con l'aiuto dell'insegnante, si traduce in una lezione molto interattiva e in una serie di osservazioni che troveranno la loro naturale spiegazione nel modello atomico a gusci.

Vediamo le competenze che gli studenti devono possedere e gli obiettivi che devono perseguire nell'ambito di questa operazione.

Competenze:

> scrivere la configurazione elettronica di un elemento nella notazione *s, p, d*;

> riconoscere il carattere periodico di una grandezza;

> interpretare correttamente almeno una parte delle notazioni riportate nella tavola periodica;

> essere in grado di porsi domande e compiere procedimenti inferenziali relativi a serie di dati sperimentali;

> saper utilizzare il computer e programmi tipo Microsoft Excel.

Obiettivi

> apprendere che le energie di prima ionizzazione variano con andamento periodico all'aumentare di Z;

⁷ Sono reperibili in commercio valvole radio a gas contenenti altri gas inerti che permettono di ampliare l'esperienza.

- > collegare la configurazione elettronica dei primi 36 elementi all'andamento periodico delle energie di prima ionizzazione;
- > formulare qualche ipotesi relativa all'andamento delle energie di prima ionizzazione dei metalli della prima serie di transizione;
- > cogliere l'importanza del livello $3d$ nella serie dei metalli della prima serie di transizione;
- > potenziare le competenze metacognitive anche in funzione del "piacere" della scoperta.

Materiali

- > tabella n.1 delle energie di prima ionizzazione di primi 36 elementi;
- > tavola periodica riportante anche le configurazioni elettroniche di tutti gli elementi;
- > libri di chimica generale e libro di testo in dotazione;

- > computer con programma Microsoft Excel.

Procedimento

Per la trattazione di questo argomento, è consigliabile che gli studenti operino in piccoli gruppi seguendo un itinerario didattico analogo a quello che di norma si segue per svolgere un'attività sperimentale.

Gli allievi dopo essersi procurati, tramite una semplice ricerca bibliografica⁸, i valori delle energie di prima ionizzazione espresse in MJ/mol degli elementi da $Z = 1$ a $Z = 36$, li ordinano in una tabella (Tabella 1) e costruiscono il grafico relativo, utilizzando il programma Excel di Microsoft (figura 3). Inoltre ai ragazzi vengono fornite una tavola periodica riportante anche le configurazioni elettroniche di tutti gli elementi. Infine, si mette a disposizione di ogni gruppo una scheda con opportuni quesiti e si propone agli allievi di completare tale scheda.

Tabella 1

Energie di prima ionizzazione dei primi 37 elementi			
Numero atomico	E_1 (MJ mol ⁻¹)	Numero atomico	E_1 (MJ mol ⁻¹)
1	1,312	19	0,419
2	2,373	20	0,59
3	0,52	21	0,631
4	0,899	22	0,658
5	0,809	23	0,65
6	1,086	24	0,653
7	1,4	25	0,717
8	1,314	26	0,759
9	1,68	27	0,758
10	2,08	28	0,737
11	0,496	29	0,745
12	0,732	30	0,906
13	0,578	31	0,579
14	0,786	32	0,762
15	1,012	33	0,946
17	1,251	35	1,139
18	1,521	36	1,303
		37	(0,403*)

**Handbook of Chemistry and Physics*, CRC Press–Div. of Chem. Rubber, Cleveland 1972, pag. E56.

⁸ R. J. Gillespie, D. A. Humphreys, N. Colin Baird, E. A. Robinson, *Chimica*, Società Editrice Scientifica, Napoli 1990



Fig. 3

Per controllare il processo di apprendimento ed al fine di individuare una strategia per l'eventuale riordino delle trame concettuali, si stimola il ragionamento assegnando compiti e quesiti dei quali può essere utile riportare di seguito qualche esempio.

Comunque, alla fine dei lavori di gruppo devono seguire la discussione ed il commento delle risposte.

Infatti la pratica del commento e della discussione collettiva guidata dall'insegnante, in riferimento all'argomento proposto ed in collegamento con le conoscenze e competenze pregresse, oltre ad avere lo scopo di coinvolgere attivamente gli studenti, costituisce una strategia pedagogico-didattica molto idonea in ordine allo sviluppo delle capacità metacognitive.

Quesiti e compiti

1) Utilizzando la tabella n.1 e il programma Excel, rappresenta graficamente E_1 in funzione di Z per gli elementi da $Z=1$ a $Z=36$ e spiega come hai operato.

2) Esaminando il grafico E_1/Z quali regolarità e quali irregolarità osservi? Stabilisci una correlazione tra la configurazione degli atomi in termini di livelli s, p, d e l'andamento del grafico.

3) Il grafico E_1/Z ha un andamento alterno e quindi presenta dei valori massimi e dei valori minimi. A quali elementi e quindi a quali configurazioni nonché a quali caratteristiche chimiche corrispondono i valori minimi? A quali i valori massimi?

4) Se con una linea si congiungono i valori dell'energia di ionizzazione corrispondenti a $Z=2, 10, 18, 36$, che cosa si osserva? Quale significato chimico ha l'andamento della curva così tracciata?

5) Se si compie la stessa operazione per i valori $Z=3, 11, 19, 37$ che cosa si osserva? Quale significato chimico ha l'andamento della curva così tracciata?

6) Confrontando il grafico E_1/Z relativo al quarto periodo con quelli relativi al secondo e al terzo periodo, quali sono le somiglianze e differenze in generale?

54) 7) Se artificialmente immaginiamo di tagliare verticalmente il grafico a livello di $Z=20$ e a livello di $Z=31$ e si

congiungono il primo ed il terzo spezzone, escludendo l'intermedio, che cosa si osserva? Che cosa suggerisce tale modifica per quanto riguarda lo spezzone che va da $Z=21$ a $Z=30$?

8) Quali concetti appresi nella trattazione del modello atomico a gusci hai dovuto richiamare e rivedere per rispondere alle domande precedenti e quali perplessità e dubbi hanno suscitato tali domande?

9) Utilizzando la tavola periodica che riporta anche le configurazioni elettroniche di tutti gli elementi, rileva le strutture elettroniche di tutti gli elementi del quarto periodo e quindi spiega come si possa motivare la differenza tra i metalli di transizione e gli altri elementi dello stesso periodo.

A questo punto per un migliore consolidamento di quanto appreso gli studenti possono proseguire la ricerca bibliografica sui testi di Chimica Generale e su Internet per raccogliere almeno in parte i valori delle successive energie di ionizzazione relative sempre ai primi 20 elementi, cioè le energie di seconda, terza, quarta ionizzazione e così via.

Se ne ricava una serie di dati del tipo riportato in Tabella 2.

Gli alunni, tenuto eventualmente conto delle differenti unità di misura usate, potranno costruire per le varie energie di ionizzazione dei grafici analoghi a quello riportato in figura 3, potranno inoltre compiere dei calcoli per verificare la coerenza dei dati raccolti rispetto a quanto riportato in figura 1 e ragionare sui dati raccolti per quanto concerne i valori più o meno elevati delle varie energie di ionizzazione.

Tabella 2

Elemento	Energie di ionizzazione degli elementi dei primi tre periodi (eV)							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
H	13,6							
He	24,6	54,4						
Li	5,4	75,6	122,4					
Be	9,3	18,2	153,9	217,7				
B	8,3	25,1	37,9	259,3	340,1			
C	11,3	24,4	47,9	64,5	392,0	489,8		
N	14,5	29,6	47,4	77,5	97,9	551,9	666,8	
O	13,6	35,1	54,9	77,4	113,9	138,1	739,1	871,1
F	17,4	35,0	62,6	87,2	114,2	157,1	185,1	953,6
Ne	21,6	41,1	64,0	97,2	126,4	157,9		
Na	5,1	47,3	71,7	98,9	138,6	172,4	208,4	264,2
Mg	7,6	15,0	80,1	109,3	141,2	186,9	225,3	266,0
Al	6,0	18,8	28,4	120,0	153,8	190,4	241,9	285,1
Si	8,1	16,3	33,4	45,1	166,7	205,1	246,4	303,9
P	11,0	19,7	30,2	51,4	65,0	220,4	263,3	309,3
S	10,4	23,4	35,0	47,3	72,5	88,0	281,0	328,8
Cl	13,0	23,8	39,9	53,5	67,8	96,7	114,3	348,3
Ar	15,8	27,6	40,9	59,8	75,0	91,3	124,0	143,5

Dati provenienti da: P. Chieccoli, *Fondamenti di Chimica*, Torino, UTET Ed., 1975

Ringraziamenti

Si ringraziano per la collaborazione il Dirigente Scolastico prof. Manrico Traversa, la prof. Livia Mercato, il prof. Giuseppe Feragotto e i periti tecnici: sig. Dino Lirussi, sig. Bartolomeo Di Lorenzo e sig. Raffaele Adornato, dell'IPSIA "G. Ceconi" di Udine.